VORTRÄGE UND REDEN

ZWEITER BAND

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig

VORTRÄGE UND REDEN

VON

HERMANN VON HELMHOLTZ

FÜNFTE AUFLAGE

ZWEITER BAND

MIT 20 EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN

BRAUNSCHWEIG
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN
1903

VORREDE ZUM ZWEITEN BANDE

Ueber die einzelnen Vorträge dieses Bandes ist Folgendes zu bemerken:

Ueber die Axiome der Geometrie. Dieser Vortrag ist ein Versuch, den Inhalt einer in den „Göttinger gelehrten Anzeigen“ vom 3. Juni 1868 veröffentlichten Untersuchung einem Kreise von Nicht-Mathematikern zugänglich zu machen, und giebt in stark überarbeiteter Form einen Vortrag wieder, den ich in diesem Sinne im Docentenverein zu Heidelberg 1869 gehalten hatte. Die zweite Hälfte namentlich wurde erst für die Veröffentlichung in den „Populären wissenschaftlichen Vorträgen“, Heft III, hinzugefügt, und ist durch die unglaublichen Missverständnisse und Entstellungen veranlasst worden, denen Riemann's und meine Arbeit in der philosophischen Polemik begegnet war.

Zum Gedächtniss an Gustav Magnus, zuerst veröffentlicht in den „Denkschriften der Akademie der Wissenschaften zu Berlin“, Jahrgang 1871, S. 1; dann in den „Populären wissenschaftlichen Vorträgen“, Heft III.

Ueber die Entstehung des Planetensystems. Dieser Aufsatz gehörte ursprünglich in denselben Cyclus von Vorlesungen, aus dem auch der im ersten Bande abgedruckte Aufsatz über die Erhaltung der Kraft entnommen ist, und wurde in dieser Gestalt 1876 für die „Populären wissenschaftlichen Vorträge“, Heft III, ausgearbeitet. Das Thema ist in neuerer Zeit ein Lieblingsgegenstand populärer naturwissenschaftlicher und philosophischer Besprechungen gewesen. Dem Inhalte nach war nichts Neues darüber beizubringen, aber eine zusammenhängende Darstellung der thatsächlichen Grundlagen, die zu den verbreiteten Ansichten über diese Frage geführt haben, schien mir immer noch wünschenswerth zu sein. Dass vieles Einzelne darin sich mit Theilen des früher veröffentlichten Vortrages über die Wechselwirkung der Naturkräfte decken musste, liess sich leider nicht vermeiden.

Optisches über Malerei. Dieser Aufsatz ist eine Zusammenfassung mehrerer Einzelvorträge, die ich in verschiedenen Städten gehalten und worin ich das besprochene Thema nach verschiedenen Richtungen hin zu entwickeln versucht hatte. Dadurch ist es gekommen, dass derselbe an Länge die Grenzen eines mündlichen Vortrags bei Weitem überschreitet. Er wurde in dieser Form in den „Populären wissenschaftlichen Vorträgen“, Heft III, 1876, veröffentlicht.

Wirbelstürme und Gewitter, früher veröffentlicht in der „Deutschen Rundschau“ 1875.

Das Denken in der Medicin. Rede, gehalten am Stiftungstage des medicinisch-chirurgischen Fried-

rich-Wilhelms-Instituts am 2. August 1877, zuerst gedruckt als Programm des genannten Instituts, dann herausgegeben im Verlage von Aug. Hirschwald, Berlin, zweite Auflage mit Zusatz, 1878.

Ueber die akademische Freiheit der deutschen Universitäten. Rectoratsrede vom 15. October 1877, zuerst veröffentlicht als Programm der Universität, dann im Verlage von Aug. Hirschwald, Berlin 1878.

Die Thatsachen in der Wahrnehmung. Rectoratsrede vom 3. August 1878, zuerst veröffentlicht als Programm der Universität, dann überarbeitet und mit drei Beilagen im Verlage von Aug. Hirschwald. In der dritten Beilage sind einige Aenderungen angebracht, um den Ausdruck präciser zu machen und Missverständnisse abzuwehren, so viel an mir lag. Diese Beilage ist der wesentlichste Theil einer Antwort, die ich in dem englischen Journal „Mind“, Vol. III, p. 212 bis 224, gegen Einwürfe des Herrn Professor Land gegeben hatte. Der deutsche Originaltext jenes englischen Aufsatzes ist dann in der Sammlung meiner „Wissenschaftlichen Abhandlungen“, Bd. II, S. 640, Leipzig 1883, veröffentlicht.

Die neuere Entwickelung von Faraday's Ideen über Elektricität. Vortrag zu Faraday's Gedächtnissfeier, gehalten vor der Chemischen Gesellschaft zu London, 5. April 1881, veröffentlicht in englischer Sprache in „Journal of the Chemical Society, June 1881“, hier zum ersten Male in deutscher Uebersetzung mit einigen durch die inzwischen vorgeschrittenen wissenschaftlichen Forschungen veranlassten Verbesserungen.

Die Rede ist für Chemiker bestimmt, setzt also einen ziemlich weit gehenden Grad naturwissenschaftlicher, wenn auch nicht mathematischer Kenntnisse voraus.

Ueber die elektrischen Maasseinheiten nach den Berathungen des Pariser Congresses 1881. Vortrag, gehalten im hiesigen Elektrotechnischen Verein, zuerst abgedruckt in dessen Zeitschrift 1881. Der neue Abdruck ist stilistisch sehr stark durchgearbeitet, da der erste nur Correctur einer sehr unvollkommenen stenographischen Nachschrift war, und es ist eine Beilage über die neuesten Festsetzungen der Conferenz von 1884 beigefügt.

Kritisches, die schon in der Vorrede zum ersten Bande erwähnten Vorreden zu der deutschen Uebersetzung von William Thomson and P. G. Tait: „A Treatise on Natural Philosophy“ und John Tyndall's „Fragments of Science“. [Befindet sich in der vorliegenden Ausgabe im Anhang.]

Neu hinzugefügt wurden in dieser Auflage:

Antwortrede, gehalten am 9. August 1886 in der Aula der Universität zu Heidelberg, nachdem dem Verfasser im Auftrage der Ophthalmologischen Gesellschaft die neugestiftete Graefe-Medaille durch Professor Donders übergeben war. Zuerst abgedruckt in dem Bericht über die 18. Versammlung der ophthalmologischen Gesellschaft, 1 Heftchen, S. 43 bis 52. Festsitzung am 9. August 1886. F. Enke, Stuttgart. Separat gedruckt bei Adler's Erben, Rostock.

Josef Fraunhofer. Ansprache, gehalten im Berliner Rathhause an die Deutsche Gesellschaft für Me-

chanik und Optik bei der Gedenkfeier zur hundertjährigen Wiederkehr des Geburtstages Josef Fraunhofer's am 6. März 1887. Zuerst abgedruckt in der Zeitschrift für Instrumentenkunde, 7. Jahrgang, S. 115 bis 122, 1887. J. Springer, Berlin.

Goethe's Vorahnungen kommender naturwissenschaftlicher Ideen. Rede, gehalten in der Generalversammlung der Goethe-Gesellschaft zu Weimar, den 11. Juni 1892. Zuerst abgedruckt in Julius Rodenberg's Deutscher Rundschau, Juliheft 1892, S. 115 bis 132. Gebr. Paetel, Berlin. Daselbst auch gesondert gedruckt S. 1 bis 55.

Heinrich Hertz. Vorwort zu den „Principien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt von Heinrich Hertz". J. Ambr. Barth, Leipzig 1894. Ein im Juli 1894 geschriebener Nachruf.

Ausserdem sind, wie im ersten Bande, alle Beilagen und Zusätze zu den einzelnen Reden des Bandes in einem Anhang zusammengestellt.

INHALT DES ZWEITEN BANDES

Ueber den Ursprung und die Bedeutung der geometrischen Axiome

Vortrag
gehalten im Docentenverein zu Heidelberg
1870

Die Thatsache, dass eine Wissenschaft von der Art bestehen und in der Weise aufgebaut werden kann, wie es bei der Geometrie der Fall ist, hat von jeher die Aufmerksamkeit aller Derer, welche für die principiellen Fragen der Erkenntnisstheorie Interesse fühlten, im höchsten Grade in Anspruch nehmen müssen. Unter allen Zweigen menschlicher Wissenschaft giebt es keine zweite, die gleich ihr fertig, wie eine erzgerüstete Minerva aus dem Haupte des Zeus, hervorgesprungen erscheint, keine vor deren vernichtender Aegis Widerspruch und Zweifel so wenig ihre Augen aufzuschlagen wagten. Dabei fällt ihr in keiner Weise die mühsame und langwierige Aufgabe zu, Erfahrungsthatsachen sammeln zu müssen, wie es die Naturwissenschaften im engeren Sinne zu thun haben, sondern die ausschliessliche Form ihres wissenschaftlichen Verfahrens ist die Deduction. Schluss wird aus Schluss entwickelt, und doch zweifelt schliesslich Niemand von gesunden Sinnen daran, dass diese geometrischen Sätze ihre sehr praktische Anwendung auf die uns umgebende Wirklichkeit finden müssen. Die Feldmesskunst wie die Architektur, die Maschinenbaukunst wie die mathematische Physik, sie berechnen fortdauernd Raumverhältnisse der verschiedensten Art nach geometrischen Sätzen; sie erwarten, dass der Erfolg ihrer Constructionen und Versuche sich diesen Rechnungen füge, und noch ist kein Fall bekannt geworden, wo sie sich in dieser Erwartung getäuscht hätten, vorausgesetzt, dass sie richtig und mit ausreichenden Daten gerechnet hatten.

So ist denn auch die Thatsache, dass Geometrie besteht und solches leistet, in dem Streite über diejenige Frage, welche gleichsam den Kernpunkt aller Gegensätze der philosophischen Systeme bildet, immer benutzt worden, um an einem imponirenden Bei-

spiele zu erweisen, dass ein Erkennen von Sätzen realen Inhalts ohne entsprechende aus der Erfahrung hergenommene Grundlage möglich sei. Namentlich bilden bei der Beantwortung von Kant's berühmter Frage: „Wie sind synthetische Sätze a priori möglich?“ die geometrischen Axiome wohl diejenigen Beispiele, welche am evidentesten zu zeigen schienen, dass überhaupt synthetische Sätze a priori möglich seien. Weiter gilt ihm der Umstand, dass solche Sätze existiren und sich unserer Ueberzeugung mit Nothwendigkeit aufdrängen, als Beweis dafür, dass der Raum eine a priori gegebene Form aller äusseren Anschauung sei. Er scheint dadurch für diese a priori gegebene Form nicht nur den Charakter eines rein formalen und an sich inhaltsleeren Schema in Anspruch zu nehmen, in welches jeder beliebige Inhalt der Erfahrung passen würde, sondern auch gewisse Besonderheiten des Schema mit einzuschliessen, die bewirken, dass eben nur ein in gewisser Weise gesetzmässig beschränkter Inhalt in dasselbe eintreten und uns anschaubar werden könne [1]).

Eben dieses erkenntnisstheoretische Interesse der Geometrie ist es nun, welches mir den Muth giebt in einer Versammlung, deren Mitglieder nur zum kleinsten Theile tiefer, als es der Schulunterricht mit sich brachte, in mathematische Studien eingedrungen sind, von geometrischen Dingen zu reden. Glücklicher Weise wird das, was der Gymnasialunterricht an geometrischen Kenntnissen zu lehren pflegt, genügen, um Ihnen wenigstens den Sinn der im Folgenden zu besprechenden Sätze verständlich zu machen.

Ich beabsichtige nämlich Ihnen Bericht zu erstatten über eine Reihe sich an einander schliessender neuerer mathematischer Arbeiten, welche die geometrischen Axiome, ihre Beziehungen zur

---

[1]) In seinem Buche „Ueber die Grenzen der Philosophie“ behauptet Herr W. Tobias, Sätze ähnlichen Sinnes, die ich früher ausgesprochen hatte, seien ein Missverständniss von Kant's Meinung. Aber Kant führt speciell die Sätze, dass die gerade Linie die kürzeste sei (Kritik d. r. Vernunft. Einleitung V, 2. Aufl., S. 16), dass der Raum drei Dimensionen habe (Ebend. Thl. I, Abschn. 1, § 3, S. 41), dass nur eine gerade Linie zwischen zwei Punkten möglich sei (Ebend. Thl. II, Abthl. I, von den Axiomen der Anschauung S. 204), als Sätze an, „welche die Bedingungen der sinnlichen Anschauung a priori ausdrücken.“ Ob diese Sätze aber ursprünglich in der Raumanschauung gegeben sind, oder diese nur die Anhaltspunkte giebt, aus denen der Verstand solche Sätze a priori entwickeln kann, worauf mein Kritiker Gewicht legt, darauf kommt es hier gar nicht an.

Erfahrung und die logische Möglichkeit, sie durch andere zu ersetzen, betreffen.

Da die darauf bezüglichen Originalarbeiten der Mathematiker — zunächst nur bestimmt Beweise für den Sachverständigen in einem Gebiete zu führen, welches eine höhere Kraft der Abstraction in Anspruch nimmt als irgend ein anderes — dem Nichtmathematiker ziemlich unzugänglich sind, so will ich versuchen auch für einen solchen anschaulich zu machen, um was es sich handelt. Ich brauche wohl nicht zu bemerken, dass meine Auseinandersetzung keinen Beweis von der Richtigkeit der neuen Einsichten geben soll. Wer einen solchen sucht, der muss sich schon die Mühe nehmen, die Originalarbeiten zu studiren.

Wer einmal durch die Pforten der ersten elementaren Sätze in die Geometrie, das heisst die mathematische Lehre vom Raume, eingetreten ist, der findet vor sich auf seinem weiteren Wege jene lückenlose Kette von Schlüssen, von denen ich vorher gesprochen habe, durch welche immer mannigfachere und verwickeltere Raumformen ihre Gesetze empfangen. Aber in jenen ersten Elementen werden einige Sätze aufgestellt, von denen die Geometrie selbst erklärt, dass sie sie nicht beweisen könne; dass sie nur darauf rechnen müsse, Jeder, der den Sinn dieser Sätze verstehe, werde ihre Richtigkeit zugeben. Das sind die sogenannten Axiome der Geometrie. Zu diesen gehört zunächst der Satz, dass, wenn man die kürzeste Linie, die zwischen zwei Punkten gezogen werden kann, eine gerade Linie nennt, es zwischen zwei Punkten nur eine und nicht zwei verschiedene solche gerade Linien geben könne. Es ist ferner ein Axiom, dass durch je drei Punkte des Raumes, die nicht in einer geraden Linie liegen, eine Ebene gelegt werden kann, das heisst eine Fläche, in welche jede gerade Linie, die zwei ihrer Punkte verbindet, ganz hinein fällt. Ein anderes vielbesprochenes Axiom sagt aus, dass durch einen ausserhalb einer geraden Linie liegenden Punkt nur eine einzige und nicht zwei verschiedene, jener ersten parallele, Linien gelegt werden können. Parallel aber nennt man zwei Linien, die in ein und derselben Ebene liegen und sich niemals schneiden, so weit sie auch verlängert werden mögen. Ausserdem sprechen die geometrischen Axiome Sätze aus, welche die Anzahl der Dimensionen sowohl des Raumes als seiner Flächen, Linien, Punkte bestimmen, und den Begriff der Continuität dieser Gebilde erläutern, wie die Sätze, dass die Grenze eines Körpers eine Fläche, die einer Fläche eine Linie, die einer Linie ein

Punkt, und der Punkt untheilbar ist; ferner die Sätze, dass durch Bewegung eines Punktes eine Linie, durch Bewegung einer Linie eine Linie oder Fläche, durch Bewegung einer Fläche eine Fläche oder ein Körper, durch Bewegung eines Körpers aber immer nur wieder ein Körper beschrieben werde.

Woher kommen nun solche Sätze, unbeweisbar und doch unzweifelhaft richtig im Felde einer Wissenschaft, wo sich alles Andere der Herrschaft des Schlusses hat unterwerfen lassen? Sind sie ein Erbtheil aus der göttlichen Quelle unserer Vernunft, wie die idealistischen Philosophen meinen, oder ist der Scharfsinn der bisher aufgetretenen Generationen von Mathematikern nur noch nicht ausreichend gewesen den Beweis zu finden? Natürlich versucht jeder neue Jünger der Geometrie, der mit frischem Eifer an diese Wissenschaft herantritt, der Glückliche zu sein, welcher alle Vorgänger überflügelt. Auch ist es ganz recht, dass ein Jeder sich von Neuem daran versucht; denn nur durch die Fruchtlosigkeit der eigenen Versuche konnte man sich bei der bisherigen Sachlage von der Unmöglichkeit des Beweises überzeugen. Leider finden sich von Zeit zu Zeit auch immer einzelne Grübler, welche sich so lange und tief in verwickelte Schlussfolgen verstricken, bis sie die begangenen Fehler nicht mehr entdecken können und die Sache gelöst zu haben glauben. Namentlich der Satz von den Parallelen hat eine grosse Zahl scheinbarer Beweise hervorgerufen.

Die grösste Schwierigkeit in diesen Untersuchungen bestand und besteht immer darin, dass sich mit den logischen Begriffsentwickelungen gar zu leicht Ergebnisse der alltäglichen Erfahrung als scheinbare Denknothwendigkeiten vermischten, so lange die einzige Methode der Geometrie die von Euklides gelehrte Methode der Anschauung war. Namentlich ist es ausserordentlich schwer, auf diesem Wege vorschreitend sich überall klar zu machen, ob man in den Schritten, die man für die Beweisführung nach einander vorschreibt, nicht unwillkürlich und unwissentlich gewisse allgemeinste Ergebnisse der Erfahrung zu Hilfe nimmt, welche die Ausführbarkeit gewisser vorgeschriebener Theile des Verfahrens uns schon praktisch gelehrt haben. Der wohlgeschulte Geometer fragt bei jeder Hilfslinie, die er für irgend einen Beweis zieht, ob es auch immer möglich sein wird eine Linie von der verlangten Art zu ziehen. Bekanntlich spielen die Constructionsaufgaben in dem Systeme der Geometrie eine wesentliche Rolle. Oberflächlich betrachtet sehen dieselben aus wie praktische Anwendungen,

welche man zur Einübung der Schüler hineingesetzt hat. In Wahrheit aber stellen sie die Existenz gewisser Gebilde fest. Sie zeigen, dass Punkte, gerade Linien oder Kreise von der Art, wie sie in der Aufgabe zu construiren verlangt werden, entweder unter allen Bedingungen möglich sind, oder bestimmen die etwa vorhandenen Ausnahmefälle. Der Punkt, um den sich die im Folgenden zu besprechenden Untersuchungen drehen, ist wesentlich dieser Art. Die Grundlage aller Beweise in der Euklid'schen Methode ist der Nachweis der Congruenz der betreffenden Linien, Winkel, ebenen Figuren, Körper u. s. w. Um die Congruenz anschaulich zu machen, stellt man sich vor, dass die betreffenden geometrischen Gebilde zu einander hinbewegt werden, natürlich ohne ihre Form und Dimensionen zu verändern. Dass dies in der That möglich und ausführbar sei, haben wir alle von frühester Jugend an erfahren. Wenn wir aber Denknothwendigkeiten auf diese Annahme freier Beweglichkeit fester Raumgebilde mit unveränderter Form nach jeder Stelle des Raumes hin bauen wollen, so müssen wir die Frage aufwerfen, ob diese Annahme keine logisch unerwiesene Voraussetzung einschliesst. Wir werden gleich nachher sehen, dass sie in der That eine solche einschliesst, und zwar eine sehr folgenreiche. Wenn sie das aber thut, so ist jeder Congruenzbeweis auf eine nur aus der Erfahrung genommene Thatsache gestützt.

Ich führe diese Ueberlegungen hier zunächst nur an, um klar zu machen, auf welche Schwierigkeiten wir bei der vollständigen Analyse aller von uns gemachten Voraussetzungen nach der Methode der Anschauung stossen. Ihnen entgehen wir, wenn wir die von der neueren rechnenden Geometrie ausgearbeitete analytische Methode auf die Untersuchung der Principien anwenden. Die ganze Ausführung der Rechnung ist eine rein logische Operation; sie kann keine Beziehung zwischen den der Rechnung unterworfenen Grössen ergeben, die nicht schon in den Gleichungen, welche den Ansatz der Rechnung bilden, enthalten ist. Die erwähnten neueren Untersuchungen sind deshalb fast ausschliesslich mittelst der rein abstracten Methode der analytischen Geometrie geführt worden.

Uebrigens lässt sich nun doch, nachdem die abstracte Methode die Punkte, auf die es ankommt, kennen gelehrt hat, einigermaassen eine Anschauung dieser Punkte geben; am besten, wenn wir in ein engeres Gebiet herabsteigen, als unsere eigene Raumwelt ist. Denken wir uns — darin liegt keine logische Unmög-

lichkeit — verstandbegabte Wesen von nur zwei Dimensionen, die an der Oberfläche irgend eines unserer festen Körper leben und sich bewegen. Wir nehmen an, dass sie nicht die Fähigkeit haben, irgend etwas ausserhalb dieser Oberfläche wahrzunehmen, wohl aber Wahrnehmungen zu machen, ähnlich den unserigen, innerhalb der Ausdehnung der Fläche, in der sie sich bewegen. Wenn sich solche Wesen ihre Geometrie ausbilden, so würden sie ihrem Raume natürlich nur zwei Dimensionen zuschreiben. Sie würden ermitteln, dass ein Punkt, der sich bewegt, eine Linie beschreibt, und eine Linie, die sich bewegt, eine Fläche, was für sie das vollständigste Raumgebilde wäre, das sie kennen. Aber sie würden sich ebenso wenig eine Vorstellung machen können von einem weiteren räumlichen Gebilde, das entstände, wenn eine Fläche sich aus ihrem flächenhaften Raume herausbewegte, als wir es können von einem Gebilde, das durch Herausbewegung eines Körpers aus dem uns bekannten Raume entstände. Unter dem viel gemissbrauchten Ausdrucke „sich vorstellen“ oder „sich denken können, wie etwas geschieht“ verstehe ich — und ich sehe nicht, wie man etwas Anderes darunter verstehen kann, ohne allen Sinn des Ausdrucks aufzugeben —, dass man sich die Reihe der sinnlichen Eindrücke ausmalen könne, die man haben würde, wenn so etwas in einem einzelnen Falle vor sich ginge. Ist nun gar kein sinnlicher Eindruck bekannt, der sich auf einen solchen nie beobachteten Vorgang bezöge, wie für uns eine Bewegung nach einer vierten, für jene Flächenwesen eine Bewegung nach der uns bekannten dritten Dimension des Raumes wäre, so ist ein solches „Vorstellen“ nicht möglich, ebenso wenig als ein von Jugend auf absolut Blinder sich wird die Farben „vorstellen“ können, auch wenn man ihm eine begriffliche Beschreibung derselben geben könnte.

Jene Flächenwesen würden ferner auch kürzeste Linien in ihrem flächenhaften Raume ziehen können. Das wären nicht nothwendig gerade Linien in unserem Sinne, sondern was wir nach geometrischer Terminologie geodätische Linien der Fläche, auf der jene leben, nennen würden, Linien, wie sie ein gespannter Faden beschreibt, den man an die Fläche anlegt, und der ungehindert an ihr gleiten kann. Ich will mir erlauben, im Folgenden dergleichen Linien als die geradesten Linien der bezeichneten Fläche (beziehlich eines gegebenen Raumes) zu bezeichnen, um dadurch ihre Analogie mit der geraden Linie in der Ebene hervorzuheben. Ich hoffe den Begriff durch diesen Ausdruck der An-

schauung meiner nicht mathematischen Zuhörer näher zu rücken, ohne doch Verwechselungen zu veranlassen.

Wenn nun Wesen dieser Art auf einer unendlichen Ebene lebten, so würden sie genau dieselbe Geometrie aufstellen, welche in unserer Planimetrie enthalten ist. Sie würden behaupten, dass zwischen zwei Punkten nur eine gerade Linie möglich ist, dass durch einen dritten, ausserhalb derselben liegenden Punkt nur eine Parallele mit der ersten geführt werden kann, dass übrigens gerade Linien in das Unendliche verlängert werden können, ohne dass ihre Enden sich wieder begegnen, und so weiter. Ihr Raum könnte unendlich ausgedehnt sein, aber auch, wenn sie an Grenzen ihrer Bewegung und Wahrnehmung stiessen, würden sie sich eine Fortsetzung jenseits dieser Grenzen anschaulich vorstellen können. In dieser Vorstellung würde ihnen ihr Raum unendlich ausgedehnt erscheinen, gerade wie uns der unserige, obgleich auch wir mit unserem Leibe nicht unsere Erde verlassen können, und unser Blick nur so weit reicht, als sichtbare Fixsterne vorhanden sind.

Nun könnten aber intelligente Wesen dieser Art auch an der Oberfläche einer Kugel leben. Ihre kürzeste oder geradeste Linie zwischen zwei Punkten würde dann ein Bogen des grössten Kreises sein, der durch die betreffenden Punkte zu legen ist. Jeder grösste Kreis, der durch zwei gegebene Punkte geht, zerfällt dabei in zwei Theile. Wenn beide ungleich lang sind, ist der kleinere Theil allerdings die einzige kürzeste Linie auf der Kugel, die zwischen diesen beiden Punkten besteht. Aber auch der andere grössere Bogen desselben grössten Kreises ist eine geodätische oder geradeste Linie, d. h. jedes kleinere Stück desselben ist eine kürzeste Linie zwischen seinen beiden Endpunkten. Wegen dieses Umstandes können wir den Begriff der geodätischen oder geradesten Linie nicht kurzweg mit dem der kürzesten Linie identificiren. Wenn nun die beiden gegebenen Punkte Endpunkte desselben Durchmessers der Kugel sind, so schneiden alle durch diesen Durchmesser gelegten Ebenen Halbkreise aus der Kugelfläche, welche alle kürzeste Linien zwischen den beiden Endpunkten sind. In einem solchen Falle giebt es also unendlich viele unter einander gleiche kürzeste Linien zwischen den beiden gegebenen Punkten. Somit würde das Axiom, dass nur eine kürzeste Linie zwischen zwei Punkten bestehe, für die Kugelbewohner nicht ohne eine gewisse Ausnahme giltig sein.

Parallele Linien würden die Bewohner der Kugel gar nicht

kennen. Sie würden behaupten, dass beliebige zwei geradeste Linien, gehörig verlängert, sich schliesslich nicht nur in einem, sondern in zwei Punkten schneiden müssten. Die Summe der Winkel in einem Dreieck würde immer grösser sein als zwei Rechte, und um so grösser, je grösser die Fläche des Dreiecks. Eben deshalb würde ihnen auch der Begriff der geometrischen Aehnlichkeit der Form zwischen grösseren und kleineren Figuren derselben Art fehlen. Denn ein grösseres Dreieck muss nothwendig andere Winkel haben als ein kleineres. Ihr Raum würde allerdings unbegrenzt, aber endlich ausgedehnt gefunden oder mindestens vorgestellt werden müssen.

Es ist klar, dass die Wesen auf der Kugel bei denselben logischen Fähigkeiten, doch ein ganz anderes System geometrischer Axiome aufstellen müssten, als die Wesen auf der Ebene, und als wir selbst in unserem Raume von drei Dimensionen. Diese Beispiele zeigen uns schon, dass, je nach der Art des Wohnraumes, verschiedene geometrische Axiome aufgestellt werden müssten von Wesen, deren Verstandeskräfte den unserigen ganz entsprechend sein könnten.

Aber gehen wir weiter. Denken wir uns vernünftige Wesen existirend an der Oberfläche eines eiförmigen Körpers. Zwischen je drei Punkten einer solchen Oberfläche könnte man kürzeste Linien ziehen und so ein Dreieck construiren. Wenn man aber versuchte an verschiedenen Stellen dieser Fläche congruente Dreiecke zu construiren, so würde sich zeigen, dass, wenn zwei Dreiecke gleich lange Seiten haben, ihre Winkel nicht gleich gross ausfallen. An dem spitzeren Ende des Eies gezeichnet, würde die Winkelsumme des Dreiecks sich mehr von zwei Rechten unterscheiden, als wenn ein Dreieck mit denselben Seiten an dem stumpferen Ende gezeichnet würde; daraus geht hervor, dass an einer solchen Fläche sich nicht einmal ein so einfaches Raumgebilde, wie ein Dreieck, ohne Aenderung seiner Form von einem Orte nach jedem anderen fortbewegen lassen würde. Ebenso würde sich zeigen, dass, wenn an verschiedenen Stellen einer solchen Oberfläche Kreise mit gleichen Radien construirt würden (die Länge der Radien immer durch kürzeste Linien längs der Fläche gemessen), deren Peripherie am stumpfen Ende grösser ausfallen würde, als am spitzeren Ende.

Daraus folgt weiter, dass es eine besondere geometrische Eigenschaft einer Fläche ist, wenn sich in ihr liegende Figuren, ohne Veränderung ihrer sämmtlichen längs der Fläche gemessenen

Linien und Winkel, frei verschieben lassen, und dass dies nicht auf jeder Art von Fläche der Fall sein wird. Die Bedingung dafür, dass eine Fläche diese wichtige Eigenschaft habe, hatte schon Gauss in seiner berühmten Abhandlung über die Krümmung der Flächen nachgewiesen. Die Bedingung ist, dass das, was er das „Maass der Krümmung" genannt hat (nämlich der reciproke Werth des Productes der beiden Hauptkrümmungsradien), überall längs der ganzen Ausdehnung der Fläche gleiche Grösse habe.

Gauss hat gleichzeitig nachgewiesen, dass dieses Maass der Krümmung sich nicht verändert, wenn die Fläche gebogen wird, ohne dabei in irgend einem Theile eine Dehnung oder Zusammenziehung zu erleiden. So können wir ein ebenes Papierblatt zu einem Cylinder oder einem Kegel (Düte) aufrollen, ohne dass die längs der Fläche des Blattes genommenen Abmessungen seiner Figuren sich verändern. Und ebenso können wir die halbkugelförmige geschlossene Hälfte einer Schweinsblase in Spindelform zusammenrollen, ohne die Abmessungen in dieser Fläche selbst zu verändern. Es wird also auch die Geometrie auf einer Ebene dieselbe sein wie in einer Cylinderfläche. Wir müssen uns nur im letzteren Falle vorstellen, dass unbegrenzt viele Lagen dieser Fläche, wie die Lagen eines umgewickelten Papierblattes, über einander liegen, und dass man bei jedem ganzen Umgang um den Cylinderumfang in eine andere Lage hineinkommt, verschieden von derjenigen, in der man sich früher befand.

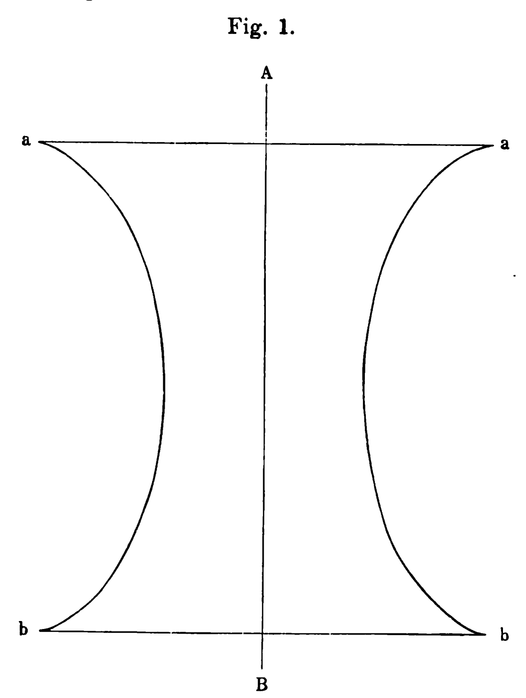
Diese Bemerkungen sind nöthig, um Ihnen eine Vorstellung von einer Art von Fläche geben zu können, deren Geometrie der der Ebene im Ganzen ähnlich ist, für welche aber das Axiom von den Parallellinien nicht gilt. Es ist dies eine Art gekrümmter Fläche, welche sich in geometrischer Beziehung wie das Gegentheil einer Kugel verhält, und die deshalb von dem ausgezeichneten italienischen Mathematiker E. Beltrami[1]), der ihre Eigenschaften untersucht hat, die pseudosphärische Fläche genannt worden ist. Es ist eine sattelförmige Fläche, von der in unserem Raume nur begrenzte Stücke oder Streifen zusammenhängend dargestellt werden können, die man aber doch sich nach allen Richtungen in das Unendliche fortgesetzt denken kann, da man jedes an der Grenze des construirten Flächentheiles liegende Stück nach der

---

1) Saggio di Interpretazione della Geometria Non-Euclidea. Napoli 1848. — Teoria fondamentale degli Spazij di Curvatura costante. Annali di Matematica. Ser. II, Tomo II, p. 232 — 255.

Mitte desselben zurückgeschoben und dann fortgesetzt denken kann. Das verschobene Flächenstück muss dabei seine Biegung, aber nicht seine Dimensionen ändern, gerade so wie man auf einem durch dütenförmiges Zusammenrollen einer Ebene entstandenen Kegel ein Papierblatt hin- und herschieben kann. Ein solches passt sich der Kegelfläche überall an, aber es muss, näher der

Fig. 1.



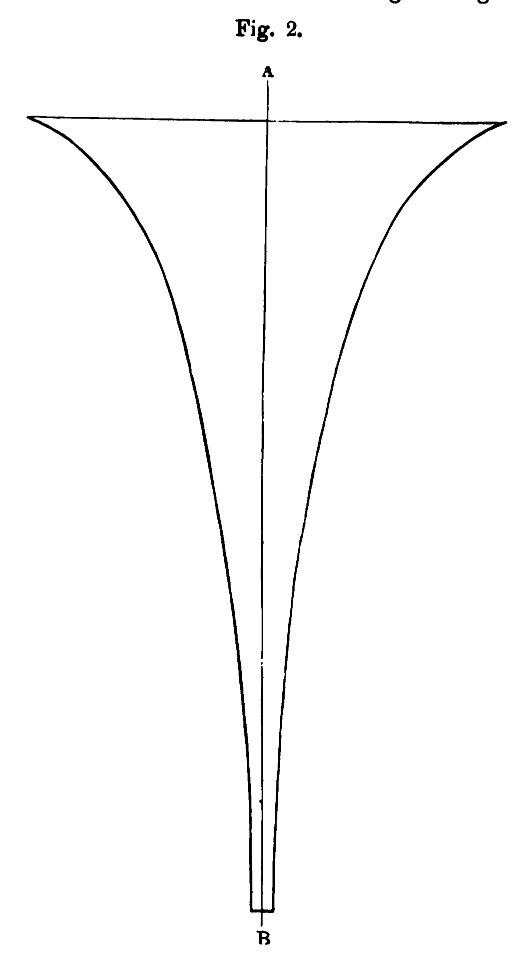
Spitze des Kegels, stärker gebogen werden und kann über die Spitze hinaus nicht so verschoben werden, dass es dem existirenden Kegel und seiner idealen Fortsetzung jenseits der Spitze angepasst bliebe.

Wie die Ebene und die Kugel sind die pseudosphärischen Flächen von constanter Krümmung, so dass sich jedes Stück derselben an jede andere Stelle der Fläche vollkommen anschliessend anlegen kann, und also alle an einem Orte in der Fläche construirten Figuren an jeden anderen Ort in vollkommen congruenter Form und mit vollkommener Gleichheit aller in der Fläche selbst liegenden Dimensionen übertragen werden können. Das von Gauss aufgestellte Maass der Krümmung, das für die Kugel positiv und für die Ebene gleich Null ist, würde für die pseudo-

sphärischen Flächen einen constanten, negativen Werth haben, weil die beiden Hauptkrümmungen einer sattelförmigen Fläche ihre Concavität nach entgegengesetzten Seiten kehren.

Ein Streifen einer pseudosphärischen Fläche kann zum Beispiel aufgewickelt als Oberfläche eines Ringes dargestellt werden.

Fig. 2.



Denken Sie sich eine Fläche wie *aabb*, Fig. 1, um ihre Symmetrieaxe *AB* gedreht, so würden die beiden Bogen *ab* eine solche pseudosphärische Ringfläche beschreiben. Die beiden Ränder der Fläche oben bei *aa* und unten bei *bb* würden sich mit immer schärfer werdender Biegung nach aussen wenden, bis die Fläche senkrecht zur Axe steht, und dort würde sie mit einer unendlich

starken Krümmung an der Kante enden. Auch zu einem kelchförmigen Champagnerglase mit unendlich verlängertem, immer dünner werdendem Stiele wie Fig. 2 (a. v. S.) könnte eine Hälfte einer pseudosphärischen Fläche aufgewickelt werden. Aber an einer Seite ist sie nothwendig immer durch einen scharf abbrechenden Rand begrenzt, über den hinaus eine continuirliche Fortsetzung der Fläche nicht unmittelbar ausgeführt werden kann. Nur dadurch, dass man jedes einzelne Stück des Randes losgeschnitten und längs der Fläche des Ringes oder Kelchglases verschoben denkt, kann man es zu Stellen von anderer Biegung bringen, an denen weitere Fortsetzung dieses Flächenstücks möglich ist.

In dieser Weise lassen sich denn auch die geradesten Linien der pseudosphärischen Fläche unendlich verlängern. Sie laufen nicht wie die der Kugel in sich zurück, sondern, wie auf der Ebene, ist zwischen zwei gegebenen Punkten immer nur eine einzige kürzeste Linie möglich. Aber das Axiom von den Parallelen trifft nicht zu. Wenn eine geradeste Linie auf der Fläche gegeben ist und ein Punkt ausserhalb derselben, so lässt sich ein ganzes Bündel von geradesten Linien durch den Punkt legen, welche alle die erstgenannte Linie nicht schneiden, auch wenn sie ins Unendliche verlängert werden. Es sind dies alle Linien, welche zwischen zwei das Bündel begrenzenden geradesten Linien liegen. Die eine von diesen, unendlich verlängert, trifft die erstgenannte Linie im Unendlichen bei Verlängerung nach einer Seite, die andere bei Verlängerung nach der anderen Seite.

Eine solche Geometrie, welche das Axiom von den Parallelen fallen lässt, ist übrigens schon im Jahre 1829 nach der synthetischen Methode des Euklid von dem Mathematiker N. J. Lobatschewsky zu Kasan vollständig ausgearbeitet worden[1]). Es zeigte sich, dass deren System ebenso consequent und ohne Widerspruch durchzuführen sei, wie das des Euklides. Diese Geometrie ist in vollständiger Uebereinstimmung mit der der pseudosphärischen Flächen, wie sie Beltrami neuerdings ausgebildet hat.

Wir sehen daraus, dass in der Geometrie zweier Dimensionen die Voraussetzung, jede Figur könne, ohne irgend welche Aenderung ihrer in der Fläche liegenden Dimensionen, nach allen Richtungen hin fortbewegt werden, die betreffende Fläche

---

[1]) Principien der Geometrie. Kasan, 1829 bis 1830.

charakterisirt als Ebene oder Kugel oder pseudosphärische Fläche. Das Axiom, dass zwischen je zwei Punkten immer nur eine kürzeste Linie bestehe, trennt die Ebene und pseudosphärische Fläche von der Kugel, und das Axiom von den Parallelen scheidet die Ebene von der Pseudosphäre. Diese drei Axiome sind also nothwendig und hinreichend, um die Fläche, auf welche sich die Euklidische Planimetrie bezieht, als Ebene zu charakterisiren, im Gegensatz zu allen anderen Raumgebilden zweier Dimensionen.

Der Unterschied zwischen der Geometrie in der Ebene und derjenigen auf der Kugelfläche ist längst klar und anschaulich gewesen, aber der Sinn des Axioms von den Parallelen konnte erst verstanden werden, nachdem Gauss den Begriff der ohne Dehnung biegsamen Flächen und damit der möglichen unendlichen Fortsetzung der pseudosphärischen Flächen entwickelt hatte. Wir als Bewohner eines Raumes von drei Dimensionen und begabt mit Sinneswerkzeugen, um alle diese Dimensionen wahrzunehmen, können uns die verschiedenen Fälle, in denen flächenhafte Wesen ihre Raumanschauung auszubilden hätten, allerdings anschaulich vorstellen, weil wir zu diesem Ende nur unsere eigenen Anschauungen auf ein engeres Gebiet zu beschränken haben. Anschauungen, die man hat, sich wegdenken ist leicht; aber Anschauungen, für die man nie ein Analogon gehabt hat, sich sinnlich vorstellen ist sehr schwer. Wenn wir deshalb zum Raume von drei Dimensionen übergehen, so sind wir in unserem Vorstellungsvermögen gehemmt durch den Bau unserer Organe und die damit gewonnenen Erfahrungen, welche nur zu dem Raume passen, in dem wir leben.

Nun haben wir aber noch einen anderen Weg zur wissenschaftlichen Behandlung der Geometrie. Es sind nämlich alle uns bekannten Raumverhältnisse messbar, das heisst, sie können auf Bestimmung von Grössen (von Linienlängen, Winkeln, Flächen, Volumina) zurückgeführt werden. Eben deshalb können die Aufgaben der Geometrie auch dadurch gelöst werden, dass man die Rechnungsmethoden aufsucht, mittelst deren man die unbekannten Raumgrössen aus den bekannten herzuleiten hat. Dies geschieht in der analytischen Geometrie, in welcher die sämmtlichen Gebilde des Raumes nur als Grössen behandelt und durch andere Grössen bestimmt werden. Auch sprechen schon unsere Axiome von Raumgrössen. Die gerade Linie wird als die kürzeste zwischen zwei Punkten definirt, was eine Grössenbestimmung ist.

Das Axiom von den Parallelen sagt aus, dass, wenn zwei gerade Linien in derselben Ebene sich nicht schneiden (parallel sind), die Wechselwinkel, beziehlich die Gegenwinkel, an einer dritten, sie schneidenden, paarweise gleich sind. Oder dafür wird der Satz gesetzt, dass die Summe der Winkel in jedem Dreieck gleich zwei Rechten ist. Auch dies sind Grössenbestimmungen.

Man kann also auch von dieser Seite des Raumbegriffs ausgehen, wonach die Lage jedes Punktes, in Bezug auf irgend welches als fest angesehenes Raumgebilde (Coordinatensystem), durch Messungen irgend welcher Grössen bestimmt werden kann; dann zusehen, welche besonderen Bestimmungen unserem Raume, wie er bei den thatsächlich auszuführenden Messungen sich darstellt, zukommen, und ob solche da sind, durch welche er sich von ähnlich mannigfaltig ausgedehnten Grössen unterscheidet. Der der Wissenschaft leider zu früh entrissene Riemann in Göttingen[1]) hat zuerst diesen Weg eingeschlagen. Dieser Weg hat den eigenthümlichen Vorzug, dass alle Operationen, die in ihm vorkommen, reine rechnende Grössenbestimmungen sind, wobei die Gefahr, dass sich gewohnte Anschauungsthatsachen als Denknothwendigkeiten unterschieben könnten, ganz wegfällt.

Die Zahl der Abmessungen, welche nöthig ist, um die Lage eines Punktes zu geben, ist gleich der Anzahl der Dimensionen des betreffenden Raumes. In einer Linie genügt der Abstand von einem festen Punkte, also eine Grösse; in einer Fläche muss man schon die Abstände von zwei festen Punkten angeben; im Raum von dreien, um die Lage des Punktes zu fixiren; oder wir brauchen, wie auf der Erde, geographische Länge, Breite und Höhe über dem Meere, oder, wie in der analytischen Geometrie gewöhnlich, die Abstände von drei Coordinatebenen. Riemann nennt ein System von Unterschieden, in welchem das Einzelne durch n Abmessungen bestimmt werden kann, eine $n$fach ausgedehnte Mannigfaltigkeit oder eine Mannigfaltigkeit von n Dimensionen. Somit ist also der uns bekannte Raum, in dem wir leben, eine dreifach ausgedehnte Mannigfaltigkeit von Punkten, eine Fläche eine zweifache, eine Linie eine einfache, die Zeit ebenso eine einfache. Auch das System der Farben bildet eine dreifache Mannigfaltigkeit, insofern jede Farbe nach Thomas Young's und

---

[1]) „Ueber die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen", Habilitationsschrift vom 10. Juni 1854. Veröffentlicht in Bd. XIII der Abhandlungen der Königl. Gesellschaft zu Göttingen.

Maxwell's[1]) Untersuchungen dargestellt werden kann, als die Mischung dreier Grundfarben, von deren jeder ein bestimmtes Quantum anzuwenden ist. Mit dem Farbenkreisel kann man solche Mischungen und Abmessungen wirklich ausführen.

Ebenso könnten wir das Reich der einfachen Töne[2]) als eine Mannigfaltigkeit von zwei Dimensionen betrachten, wenn wir sie nur nach Tonhöhe und Tonstärke verschieden nehmen und die Verschiedenheiten der Klangfarbe bei Seite lassen. Diese Verallgemeinerung des Begriffes ist sehr geeignet, um hervortreten zu lassen, wodurch sich der Raum von anderen Mannigfaltigkeiten dreier Dimensionen unterscheidet. Wir können, wie Sie alle aus alltäglicher Erfahrung wissen, im Raume den Abstand zweier über einander gelegener Punkte vergleichen mit dem horizontalen Abstande zweier Punkte des Fussbodens, weil wir einen Maassstab bald an das eine, bald an das andere Paar anlegen können. Aber wir können nicht den Abstand zweier Töne von gleicher Höhe und verschiedener Intensität vergleichen mit dem zweier Töne von gleicher Intensität und verschiedener Höhe. Riemann zeigte durch Betrachtungen dieser Art, dass die wesentliche Grundlage jeder Geometrie der Ausdruck sei, durch welchen die Entfernung zweier in beliebiger Richtung von einander liegender, und zwar zunächst zweier unendlich wenig von einander entfernter Punkte gegeben wird. Für diesen Ausdruck nahm er aus der analytischen Geometrie die allgemeinste Form[3]), welche derselbe erhält, wenn man die Art der Abmessungen, durch welche der Ort jedes Punktes gegeben wird, ganz beliebig lässt. Er zeigte dann, dass diejenige Art der Bewegungsfreiheit bei unveränderter Form, welche den Körpern in unserem Raume zukommt, nur bestehen kann, wenn gewisse, aus der Rechnung hervorgehende Grössen[4]), die bezogen auf die Verhältnisse an Flächen sich auf das Gauss'sche Maass der Flächenkrümmung reduciren, überall den gleichen Werth haben. Eben deshalb nennt Riemann diese Rechnungsgrössen, wenn sie für eine bestimmte Stelle nach allen Richtungen hin denselben Werth haben, das Krümmungsmaass des betreffenden Raumes an

---

1) Siehe Bd. I, S. 307.

2) Siehe Bd. I, S. 141.

3) Nämlich für das Quadrat des Abstandes zweier unendlich naher Punkte eine homogene Function zweiten Grades der Differentiale ihrer Coordinaten.

4) Es ist ein algebraischer Ausdruck, zusammengesetzt aus den Coëfficienten der einzelnen Glieder in dem Ausdruck für das Quadrat der Entfernung zweier benachbarter Punkte und deren Differentialquotienten.

dieser Stelle. Um Missverständnisse abzuwehren, will ich hier nur noch hervorheben, dass dieses sogenannte Krümmungsmaass des Raumes eine auf rein analytischem Wege gefundene Rechnungsgrösse ist, und dass seine Einführung keineswegs auf einer Unterschiebung von Verhältnissen, die nur in der sinnlichen Anschauung Sinn hätten, beruht. Der Name ist nur als kurze Bezeichnung eines verwickelten Verhältnisses von dem einen Falle hergenommen, wo der bezeichneten Grösse eine sinnliche Anschauung entspricht.

Wenn nun dieses Krümmungsmaass des Raumes überall den Werth Null hat, entspricht ein solcher Raum überall den Axiomen des Euklides. Wir können ihn in diesem Falle einen ebenen Raum nennen, im Gegensatz zu anderen analytisch construirbaren Räumen, die man gekrümmte nennen könnte, weil ihr Krümmungsmaass einen von Null verschiedenen Werth hat. Indessen lässt sich die analytische Geometrie für Räume der letzteren Art ebenso vollständig und in sich consequent durchführen, wie die gewöhnliche Geometrie unseres thatsächlich bestehenden ebenen Raumes.

Ist das Krümmungsmaass positiv, so erhalten wir den sphärischen Raum, in welchem die geradesten Linien in sich zurücklaufen, und in welchem es keine Parallelen giebt. Ein solcher Raum wäre, wie die Oberfläche einer Kugel, unbegrenzt, aber nicht unendlich gross. Ein negatives constantes Krümmungsmaass dagegen giebt den pseudosphärischen Raum, in welchem die geradesten Linien in das Unendliche auslaufen, und in jeder ebensten Fläche durch jeden Punkt ein Bündel von geradesten Linien zu legen ist, die eine gegebene andere geradeste Linie jener Fläche nicht schneiden.

Diese letzteren Verhältnisse hat Beltrami [1]) dadurch der Anschauung zugänglich gemacht, dass er zeigte, wie man die Punkte, Linien und Flächen eines pseudosphärischen Raumes von drei Dimensionen im Inneren einer Kugel des Euklides'schen Raumes so abbilden kann, dass jede geradeste Linie des pseudosphärischen Raumes in der Kugel durch eine gerade Linie vertreten wird, jede ebenste Fläche des ersteren durch eine Ebene in der letzteren. Die Kugeloberfläche selbst entspricht dabei den unendlich entfernten Punkten des pseudosphärischen Raumes; die verschiedenen Theile desselben sind in ihrem Kugelabbild um so

[1]) Teoria fondamentale degli Spazii di Curvatura costante. Annali di Matematica. Ser. II, Tom. II, Fasc. III, p. 232—255.

mehr verkleinert, je näher sie der Kugeloberfläche liegen und zwar in der Richtung der Kugelradien stärker als in den Richtungen senkrecht darauf. Gerade Linien in der Kugel, die sich erst ausserhalb der Kugeloberfläche schneiden, entsprechen geradesten Linien des pseudosphärischen Raumes, die sich nirgends schneiden.

Somit zeigte sich, dass der Raum, als Gebiet messbarer Grössen betrachtet, keineswegs dem allgemeinsten Begriffe einer Mannigfaltigkeit von drei Dimensionen entspricht, sondern noch besondere Bestimmungen erhält, welche bedingt sind durch die vollkommen freie Beweglichkeit der festen Körper mit unveränderter Form nach allen Orten hin und bei allen möglichen Richtungsänderungen. Ferner durch den besonderen Werth des Krümmungsmaasses, welches für den thatsächlich vorliegenden Raum gleich Null zu setzen ist, oder sich wenigstens in seinem Werthe nicht merklich von Null unterscheidet. Diese letztere Festsetzung ist in den Axiomen von den geraden Linien und von den Parallelen gegeben.

Während Riemann von den allgemeinsten Grundfragen der analytischen Geometrie her dieses neue Gebiet betrat, war ich selbst theils durch Untersuchungen über die räumliche Darstellung des Systems der Farben, also durch Vergleichung einer dreifach ausgedehnten Mannigfaltigkeit mit einer anderen, theils durch Untersuchungen über den Ursprung unseres Augenmaasses für Abmessungen des Gesichtsfeldes zu ähnlichen Betrachtungen gekommen. Riemann ging von dem oben erwähnten algebraischen Ausdrucke, welcher die Entfernung zweier einander unendlich naher Punkte in allgemeinster Form darstellt, als seiner Grundannahme aus, und leitete daraus die Sätze über Beweglichkeit fester Raumgebilde her; während ich von der Thatsache der Beobachtung ausgegangen bin, dass in unserem Raume die Bewegung fester Raumgebilde mit demjenigen Grade von Freiheit möglich ist, den wir kennen, und aus dieser Thatsache die Nothwendigkeit jenes algebraischen Ausdrucks hergeleitet habe, den Riemann als Axiom hinstellt. Die Annahmen, welche ich der Rechnung zu Grunde legen musste, waren die folgenden.

Erstens — um überhaupt rechnende Behandlung möglich zu machen — muss vorausgesetzt werden, dass die Lage jedes Punktes A gegen gewisse als unveränderlich und fest betrachtete Raumgebilde durch Messungen von irgend welchen Raumgrössen, seien es Linien, oder Winkel zwischen Linien, oder Winkel zwischen Flächen u. s. w., bestimmt werden könne. Bekanntlich nennt man die zur Bestimmung der Lage des Punktes A nöthigen

Abmessungen seine Coordinaten. Die Anzahl der im Allgemeinen zur vollständigen Bestimmung der Lage eines jeden Punktes nöthigen Coordinaten bestimmt die Anzahl der Dimensionen des betreffenden Raumes. Es wird weiter vorausgesetzt, dass bei Bewegung des Punktes A sich die als Coordinaten gebrauchten Raumgrössen continuirlich verändern.

Zweitens ist die Definition eines festen Körpers, beziehlich festen Punktsystems zu geben, wie sie nöthig ist, um Vergleichung von Raumgrössen durch Congruenz vornehmen zu können. Da wir hier noch keine speciellen Methoden zur Messung der Raumgrössen voraussetzen dürfen, so kann die Definition eines festen Körpers nur erst durch folgendes Merkmal gegeben werden: Zwischen den Coordinaten je zweier Punkte, die einem festen Körper angehören, muss eine Gleichung bestehen, die eine bei jeder Bewegung des Körpers unveränderte Raumbeziehung zwischen den beiden Punkten (welche sich schliesslich als ihre Entfernung ergiebt) ausspricht, und welche für congruente Punktpaare die gleiche ist. Congruent aber sind solche Punktpaare, die nach einander mit demselben im Raume festen Punktpaare zusammenfallen können.

Trotz ihrer anscheinend so unbestimmten Fassung ist diese Bestimmung äusserst folgenreich, weil bei Vermehrung der Punktzahl die Anzahl der Gleichungen viel schneller wächst, als die Zahl der durch sie bestimmten Coordinaten der Punkte. Fünf Punkte, A, B, C, D, E, geben zehn verschiedene Punktpaare:

$$
\begin{array}{rrrr}
AB, & AC, & AD, & AE, \\
& BC, & BD, & BE, \\
& & CD, & CE, \\
& & & DE,
\end{array}
$$

also zehn Gleichungen, die im Raume von drei Dimensionen fünfzehn veränderliche Coordinaten enthalten, von denen aber sechs frei verfügbar bleiben müssen, wenn das System der fünf Punkte frei beweglich und drehbar sein soll. Es dürfen also durch jene zehn Gleichungen nur neun Coordinaten bestimmt werden, als abhängig von jenen sechs veränderlichen. Bei sechs Punkten bekommen wir fünfzehn Gleichungen für zwölf veränderliche Grössen, bei 7 Punkten 21 Gleichungen für 15 Grössen u. s. w. Nun können wir aber aus n von einander unabhängigen Gleichungen n darin vorkommende Grössen bestimmen. Haben wir mehr als n Gleichungen, so müssen die überzähligen selbst herzuleiten sein aus den n ersten derselben. Daraus folgt, dass jene Gleichungen, welche zwischen den Coordinaten jedes Punktpaares eines festen

Körpers bestehen, von besonderer Art sein müssen; so dass, wenn sie im Raume von drei Dimensionen für neun aus je fünf Punkten gebildete Punktpaare erfüllt sind, aus ihnen die Gleichung für das zehnte Paar identisch folgt. Auf diesem Umstande beruht es, dass die genannte Annahme für die Definition der Festigkeit doch genügt, um die Art der Gleichungen zu bestimmen, welche zwischen den Coordinaten zweier fest mit einander verbundener Punkte bestehen.

Drittens ergab sich, dass der Rechnung noch eine besondere Eigenthümlichkeit der Bewegung fester Körper als Thatsache zu Grunde gelegt werden musste, eine Eigenthümlichkeit, welche uns so geläufig ist, dass wir ohne diese Untersuchung vielleicht nie darauf verfallen wären, sie als etwas zu betrachten, was auch nicht sein könnte. Wenn wir nämlich in unserem Raume von drei Dimensionen zwei Punkte eines festen Körpers festhalten, so kann er nur noch Drehungen um deren gerade Verbindungslinie als Drehungsaxe machen. Drehen wir ihn einmal ganz um, so kommt er genau wieder in die Lage, in der er sich zuerst befunden hatte. Dass nun Drehung ohne Umkehr jeden festen Körper immer wieder in seine Anfangslage zurückführt, muss besonders erwähnt werden. Es wäre eine Geometrie möglich, wo dies nicht so wäre. Am einfachsten ist dies für die Geometrie der Ebene einzusehen. Man denke sich, dass bei jeder Drehung jeder ebenen Figur ihre linearen Dimensionen dem Drehungswinkel proportional wüchsen, so würde nach einer ganzen Drehung um 360 Grad die Figur nicht mehr ihrem Anfangszustande congruent sein. Uebrigens würde ihr aber jede zweite Figur, die ihr in der Anfangslage congruent war, auch in der zweiten Lage congruent gemacht werden können, wenn auch die zweite Figur um 360 Grad gedreht wird. Es würde ein consequentes System der Geometrie auch unter dieser Annahme möglich sein, welches nicht unter die Riemann'sche Form fällt.

Andererseits habe ich gezeigt, dass die aufgezählten drei Annahmen zusammengenommen ausreichend sind, um den von Riemann angenommenen Ausgangspunkt der Untersuchung zu begründen, und damit auch alle weiteren Ergebnisse von dessen Arbeit, die sich auf den Unterschied der verschiedenen Räume nach ihrem Krümmungsmaass beziehen.

Es liesse sich nun noch fragen, ob auch die Gesetze der Bewegung und ihrer Abhängigkeit von den bewegenden Kräften ohne Widerspruch auf die sphärischen oder pseudosphärischen

Räume übertragen werden können. Diese Untersuchung ist von Herrn Lipschitz[1]) in Bonn durchgeführt worden. Es lässt sich in der That der zusammenfassende Ausdruck aller Gesetze der Dynamik, das Hamilton'sche Princip, direct auf Räume, deren Krümmungsmaass nicht gleich Null ist, übertragen. Also auch nach dieser Seite hin verfallen die abweichenden Systeme der Geometrie in keinen Widerspruch.

Wir werden nun weiter zu fragen haben, wo diese besonderen Bestimmungen herkommen, welche unseren Raum als ebenen Raum charakterisiren, da dieselben, wie sich gezeigt hat, nicht in dem allgemeinen Begriff einer ausgedehnten Grösse von drei Dimensionen und freier Beweglichkeit der in ihr enthaltenen begrenzten Gebilde eingeschlossen sind. Denknothwendigkeiten, die aus dem Begriff einer solchen Mannigfaltigkeit und ihrer Messbarkeit, oder aus dem allgemeinsten Begriff eines festen in ihr enthaltenen Gebildes und seiner freiesten Beweglichkeit herfliessen, sind sie nicht.

Wir wollen nun die entgegengesetzte Annahme, die sich über ihren Ursprung machen lässt, untersuchen, die Frage nämlich, ob sie empirischen Ursprungs seien, ob sie aus Erfahrungsthatsachen abzuleiten, durch solche zu erweisen, beziehlich zu prüfen und vielleicht auch zu widerlegen seien. Diese letztere Eventualität würde dann auch einschliessen, dass wir uns Reihen beobachtbarer Erfahrungsthatsachen müssten vorstellen können, durch welche ein anderer Werth des Krümmungsmaasses angezeigt würde, als derjenige ist, den der ebene Raum des Euklides hat. Wenn aber Räume anderer Art in dem angegebenen Sinne vorstellbar sind, so wäre damit auch widerlegt, dass die Axiome der Geometrie nothwendige Folgen einer a priori gegebenen transcendentalen Form unserer Anschauungen im Kant'schen Sinne seien.

Der Unterschied der Euklid'schen, sphärischen und pseudosphärischen Geometrie beruht, wie oben bemerkt, auf dem Werthe einer gewissen Constante, welche Riemann das Krümmungsmaass des betreffenden Raumes nennt, und deren Werth gleich Null sein muss, wenn die Axiome des Euklides gelten. Ist sie nicht gleich Null, so würden Dreiecke von grossem Flächeninhalte eine andere Winkelsumme haben müssen, als kleine, erstere im sphärischen

---

[1]) Untersuchungen über die ganzen homogenen Functionen von *n* Differentialen. Borchardt's Journal für Mathematik, Bd. LXX, S. 71 und Bd. LXXII, S. 1. — Untersuchung eines Problems der Variationsrechnung, ebendas., Bd. LXXIV.

Raume eine grössere, im pseudosphärischen eine kleinere. Ferner ist geometrische Aehnlichkeit grosser und kleiner Körper oder Figuren nur möglich im Euklid'schen Raume. Alle Systeme praktisch ausgeführter geometrischer Messungen, bei denen die drei Winkel grosser geradliniger Dreiecke einzeln gemessen worden sind, also auch namentlich alle Systeme astronomischer Messungen, welche die Parallaxe der unmessbar weit entfernten Fixsterne gleich Null ergeben (im pseudosphärischen Raum müssten auch die unendlich entfernten Punkte positive Parallaxe haben), bestätigen empirisch das Axiom von den Parallelen, und zeigen, dass in unserem Raume und bei Anwendung unserer Messungsmethoden das Krümmungsmaass des Raumes als von Null ununterscheidbar erscheint. Freilich muss mit Riemann die Frage aufgeworfen werden, ob sich dies nicht vielleicht anders verhalten würde, wenn wir statt unserer begrenzten Standlinien, deren grösste die grosse Axe der Erdbahn ist, grössere Standlinien benutzen könnten.

Aber wir dürfen dabei nicht vergessen, dass alle geometrischen Messungen schliesslich auf dem Principe der Congruenz beruhen. Wir messen Entfernungen von Punkten, indem wir den Zirkel oder den Maassstab oder die Messkette zu ihnen hinbewegen. Wir messen Winkel, indem wir den getheilten Kreis oder den Theodolithen an den Scheitel des Winkels bringen. Daneben bestimmen wir gerade Linien auch durch den unserer Erfahrung nach geradlinigen Gang der Lichtstrahlen; aber dass das Licht sich längs kürzester Linien ausbreitet, so lange es in einem ungeänderten brechenden Medium bleibt, würde sich ebenso auch auf Räume von anderem Krümmungsmaass übertragen lassen. Alle unsere geometrischen Messungen beruhen also auf der Voraussetzung, dass unsere von uns für fest gehaltenen Messwerkzeuge wirklich Körper von unveränderlicher Form sind, oder dass sie wenigstens keine anderen Arten von Formveränderung erleiden, als diejenigen, die wir an ihnen kennen, wie z. B. die von geänderter Temperatur, oder die kleinen Dehnungen, welche von der bei geänderter Stellung anders wirkenden Schwere herrühren.

Wenn wir messen, so führen wir nur mit den besten und zuverlässigsten uns bekannten Hülfsmitteln dasselbe aus, was wir sonst durch Beobachtung nach dem Augenmaass und dem Tastsinn, oder durch Abschreiten zu ermitteln pflegen. In den letzteren Fällen ist unser eigener Körper mit seinen Organen das Messwerkzeug, welches wir im Raume herumtragen. Bald ist die Hand,

bald sind die Beine unser Zirkel, oder das nach allen Richtungen sich wendende Auge der Theodolith, mit dem wir Bogenlängen oder Flächenwinkel im Gesichtsfelde abmessen.

Jede Grössen vergleichende Schätzung oder Messung räumlicher Verhältnisse geht also aus von einer Voraussetzung über das physikalische Verhalten gewisser Naturkörper, sei es unseres eigenen Leibes, sei es der angewendeten Messinstrumente, welche Voraussetzung übrigens den höchsten Grad von Wahrscheinlichkeit haben und mit allen uns sonst bekannten physikalischen Verhältnissen in der besten Uebereinstimmung stehen mag, aber jedenfalls über das Gebiet der reinen Raumanschauungen hinausgreift.

Ja, es lässt sich ein bestimmtes Verhalten der uns als fest erscheinenden Körper angeben, bei welchem die Messungen im Euklid'schen Raume so ausfallen würden, als wären sie im pseudosphärischen oder sphärischen Raume angestellt. Um dies einzusehen, erinnere ich zunächst daran, dass, wenn die sämmtlichen linearen Dimensionen der uns umgebenden Körper und die unseres eigenen Leibes mit ihnen in gleichem Verhältnisse, z. B. alle auf die Hälfte verkleinert oder alle auf das Doppelte vergrössert würden, wir eine solche Aenderung durch unsere Mittel der Raumanschauung gar nicht würden bemerken können. Dasselbe würde aber auch der Fall sein, wenn die Dehnung oder Zusammenziehung nach verschiedenen Richtungen hin verschieden wäre, vorausgesetzt, dass unser eigener Leib in derselben Weise sich veränderte und vorausgesetzt ferner, dass ein Körper, der sich drehte, in jedem Augenblick ohne mechanischen Widerstand zu erleiden oder auszuüben, denjenigen Grad der Dehnung seiner verschiedenen Dimensionen annehme, der seiner zeitigen Lage entspricht. Man denke an das Abbild der Welt in einem Convexspiegel. Die bekannten versilberten Kugeln, welche in Gärten aufgestellt zu werden pflegen, zeigen die wesentlichen Erscheinungen eines solchen Bildes, wenn auch gestört durch einige optische Unregelmässigkeiten. Ein gut gearbeiteter Convexspiegel von nicht zu grosser Oeffnung zeigt das Spiegelbild jedes vor ihm liegenden Gegenstandes scheinbar körperlich und in bestimmter Lage und Entfernung hinter seiner Fläche. Aber die Bilder des fernen Horizontes und der Sonne am Himmel liegen in begrenzter Entfernung, welche der Brennweite des Spiegels gleich ist, hinter dem Spiegel. Zwischen diesen Bildern und der Oberfläche des Spiegels sind die Bilder aller anderen vor letzterem liegenden Objecte enthalten, aber so, dass die Bilder um so mehr ver-

kleinert und um so mehr abgeplattet sind, je ferner ihre Objecte vom Spiegel liegen. Die Abplattung, das heisst die Verkleinerung der Tiefendimension, ist verhältnissmässig bedeutender als die Verkleinerung der Flächendimensionen. Dennoch wird jede gerade Linie der Aussenwelt durch eine gerade Linie im Bilde, jede Ebene durch eine Ebene dargestellt. Das Bild eines Mannes, der mit einem Maassstab eine von dem Spiegel sich entfernende gerade Linie abmisst, würde immer mehr zusammenschrumpfen, je mehr das Original sich entfernt, aber mit seinem ebenfalls zusammenschrumpfenden Maassstab würde der Mann im Bilde genau dieselbe Zahl von Centimetern herauszählen, wie der Mann in der Wirklichkeit; überhaupt würden alle geometrischen Messungen von Linien oder Winkeln, mit den gesetzmässig veränderlichen Spiegelbildern der wirklichen Instrumente ausgeführt, genau dieselben Resultate ergeben wie die in der Aussenwelt. Alle Congruenzen würden in den Bildern bei wirklicher Aneinanderlagerung der betreffenden Körper ebenso passen wie in der Aussenwelt, alle Visirlinien der Aussenwelt durch gerade Visirlinien im Spiegel ersetzt sein. Kurz, ich sehe nicht, wie die Männer im Spiegel herausbringen sollten, dass ihre Körper nicht feste Körper und ihre Erfahrungen gute Beispiele für die Richtigkeit der Axiome des Euklides seien. Könnten sie aber hinausschauen in unsere Welt, wie wir hineinschauen in die ihrige, ohne die Grenze überschreiten zu können, so würden sie unsere Welt für das Bild eines Convexspiegels erklären müssen und von uns gerade so reden, wie wir von ihnen, und wenn sich die Männer beider Welten mit einander besprechen könnten, so würde, soweit ich sehe, keiner den anderen überzeugen können, dass er die wahren Verhältnisse habe, der andere die verzerrten; ja ich kann nicht erkennen, dass eine solche Frage überhaupt einen Sinn hätte, so lange wir keine mechanischen Betrachtungen einmischen.

Nun ist Beltrami's Abbildung des pseudosphärischen Raumes in einer Vollkugel des Euklid'schen Raumes von ganz ähnlicher Art, nur dass die Fläche des Hintergrundes nicht eine Ebene, wie bei dem Convexspiegel, sondern eine Kugelfläche ist, und das Verhältniss, in welchem sich die der Kugelfläche näher kommenden Bilder zusammenziehen, einen anderen mathematischen Ausdruck[1]) hat. Denkt man sich also umgekehrt, dass in der Kugel, für deren Innenraum die Axiome des Euklides gelten, sich

[1]) Einige mathematische Erläuterungen befinden sich im Anhang.

Körper bewegen, die, wenn sie sich vom Mittelpunkte entfernen, sich jedesmal zusammenziehen, ähnlich den Bildern im Convexspiegel, und zwar sich in der Weise zusammenziehen, dass ihre im pseudosphärischen Raum construirten Abbilder unveränderte Dimensionen behalten, so würden Beobachter, deren Leiber selbst dieser Veränderung regelmässig unterworfen wären, bei geometrischen Messungen, wie sie sie ausführen könnten, Ergebnisse erhalten, als lebten sie selbst im pseudosphärischen Raume.

Wir können von hier aus sogar noch einen Schritt weiter gehen; wir können daraus ableiten, wie einem Beobachter, dessen Augenmaass und Raumerfahrungen sich gleich den unserigen im ebenen Raume ausgebildet haben, die Gegenstände einer pseudosphärischen Welt erscheinen würden, falls er in eine solche eintreten könnte. Ein solcher Beobachter würde die Linien der Lichtstrahlen oder die Visirlinien seines Auges fortfahren als gerade Linien anzusehen, wie solche im ebenen Raume vorkommen, und wie sie in dem kugeligen Abbild des pseudosphärischen Raumes wirklich sind. Das Gesichtsbild der Objecte im pseudosphärischen Raume würde ihm deshalb denselben Eindruck machen, als befände er sich im Mittelpunkte des Beltrami'schen Kugelbildes. Er würde die entferntesten Gegenstände dieses Raumes in endlicher Entfernung[1]) rings um sich zu erblicken glauben, nehmen wir beispielsweise an, in hundert Fuss Abstand. Ginge er aber auf diese entfernten Gegenstände zu, so würden sie sich vor ihm dehnen, und zwar noch mehr nach der Tiefe, als nach der Fläche; hinter ihm aber würden sie sich zusammenziehen. Er würde erkennen, dass er nach dem Augenmaass falsch geurtheilt hat. Sähe er zwei gerade Linien, die sich nach seiner Schätzung mit einander parallel bis auf diese Entfernung von 100 Fuss, wo ihm die Welt abgeschlossen erscheint, hinausziehen, so würde er, ihnen nachgehend, erkennen, dass sie bei dieser Dehnung der Gegenstände, denen er sich nähert, aus einander rücken, je mehr er an ihnen vorschreitet; hinter ihm dagegen würde ihr Abstand zu schwinden scheinen, so dass sie ihm beim Vorschreiten immer mehr divergent und immer entfernter von einander erscheinen würden. Zwei gerade Linien aber, die vom ersten Standpunkte aus nach einem und demselben Punkte des Hintergrundes in hundert Fuss Entfernung zu convergiren scheinen, würden dies immer thun, so weit er ginge und er würde ihren Schnittpunkt nie erreichen.

---

[1]) Das reciproke, negative Quadrat dieser Entfernung wäre das Krümmungsmaass des pseudosphärischen Raumes.

Nun können wir ganz ähnliche Bilder unserer wirklichen Welt erhalten, wenn wir eine grosse Convexlinse von entsprechender negativer Brennweite vor die Augen nehmen, oder auch nur zwei convexe Brillengläser, die etwas prismatisch geschliffen sein müssten, als wären sie Stücke aus einer zusammenhängenden grösseren Linse. Solche zeigen uns ebenso, wie die oben erwähnten Convexspiegel, die fernen Gegenstände genähert, die fernsten bis zur Entfernung des Brennpunktes der Linse. Wenn wir uns mit einer solchen Linse vor den Augen bewegen, gehen ganz ähnliche Dehnungen der Gegenstände, auf die wir zugehen, vor, wie ich sie für den pseudosphärischen Raum beschrieben habe. Wenn nun Jemand eine solche Linse vor die Augen nimmt, nicht einmal eine Linse von hundert Fuss, sondern eine viel stärkere von nur sechzig Zoll Brennweite, so merkt er im ersten Augenblicke vielleicht, dass er die Gegenstände genähert sieht. Aber nach wenigem Hin- und Hergehen schwindet die Täuschung, und er beurtheilt trotz der falschen Bilder die Entfernungen richtig. Wir haben allen Grund zu vermuthen, dass es uns im pseudosphärischen Raume bald genug ebenso gehen würde, wie es bei einem angehenden Brillenträger nach wenigen Stunden schon der Fall ist. Kurz der pseudosphärische Raum würde uns verhältnissmässig gar nicht sehr fremdartig erscheinen; wir würden uns nur in der ersten Zeit, bei der Abmessung der Grösse und Entfernung fernerer Gegenstände nach ihrem Gesichtseindruck, Täuschungen unterworfen finden.

Die entgegengesetzten Täuschungen würde ein sphärischer Raum von drei Dimensionen mit sich bringen, wenn wir mit dem im Euklid'schen Raume erworbenen Augenmaasse in ihn eintreten. Wir würden entferntere Gegenstände für entfernter und grösser halten, als sie sind; wir würden auf sie zugehend finden, dass wir sie schneller erreichen, als wir nach dem Gesichtsbilde annehmen mussten. Wir würden aber auch Gegenstände vor uns sehen, die wir nur mit divergirenden Gesichtslinien fixiren können; dies würde bei allen denjenigen der Fall sein, welche von uns weiter als ein Quadrant eines grössten Kreises entfernt sind. Diese Art des Anblicks würde uns kaum sehr ungewöhnlich vorkommen, denn wir können denselben auch für irdische Gegenstände hervorbringen, wenn wir vor das eine Auge ein schwach prismatisches Glas nehmen, dessen dickere Seite zur Nase gekehrt ist. Auch dann müssen wir die Augen divergent stellen, um entfernte Gegenstände zu fixiren. Das erregt ein gewisses Gefühl ungewohnter Anstrengung in den Augen, ändert aber nicht merk-

lich den Anblick der so gesehenen Gegenstände. Den seltsamsten Theil des Anblicks der sphärischen Welt würde aber unser eigener Hinterkopf bilden, in dem alle unsere Gesichtslinien wieder zusammenlaufen würden, so weit sie zwischen anderen Gegenständen frei durchgehen könnten, und welcher den äussersten Hintergrund des ganzen perspectivischen Bildes ausfüllen müsste.

Dabei ist freilich noch weiter zu bemerken, dass, wie eine kleine ebene elastische Scheibe, etwa eine kleine ebene Kautschukplatte, einer schwach gewölbten Kugelfläche nur unter relativer Contraction ihres Randes und Dehnung ihrer Mitte angepasst werden kann, so auch unser im Euklid'schen ebenen Raum gewachsener Körper nicht in einen gekrümmten Raum übergehen könnte ohne ähnliche Dehnungen und Zusammenpressungen seiner Theile zu erleiden, deren Zusammenhang natürlich nur so weit erhalten bleiben könnte, als die Elasticität der Theile ein Nachgeben ohne Reissen und Brechen erlaubte. Die Art der Dehnung würde dieselbe sein müssen, als wenn wir uns im Mittelpunkte von Beltrami's Kugel einen kleinen Körper dächten, und von diesem dann auf sein pseudosphärisches oder sphärisches Abbild übergingen. Damit ein solcher Uebergang als möglich erscheine, wird immer vorausgesetzt werden müssen, dass der übergehende Körper hinreichend elastisch und klein sei im Vergleich mit dem reellen oder imaginären Krümmungsradius des gekrümmten Raumes, in den er übergehen soll.

Es wird dies genügen um zu zeigen, wie man auf dem eingeschlagenen Wege aus den bekannten Gesetzen unserer sinnlichen Wahrnehmungen die Reihe der sinnlichen Eindrücke herleiten kann, welche eine sphärische oder pseudosphärische Welt uns geben würde, wenn sie existirte. Auch dabei treffen wir nirgends auf eine Unfolgerichtigkeit oder Unmöglichkeit, ebenso wenig wie in der rechnenden Behandlung der Maassverhältnisse. Wir können uns den Anblick einer pseudosphärischen Welt ebenso gut nach allen Richtungen hin ausmalen, wir wir ihren Begriff entwickeln können. Wir können deshalb auch nicht zugeben, dass die Axiome unserer Geometrie in der gegebenen Form unseres Anschauungsvermögens begründet wären, oder mit einer solchen irgendwie zusammen hingen.

Anders ist es mit den drei Dimensionen des Raumes. Da alle unsere Mittel sinnlicher Anschauung sich nur auf einen Raum von drei Dimensionen erstrecken, und die vierte Dimension nicht bloss eine Abänderung von Vorhandenem, sondern etwas voll-

kommen Neues wäre, so befinden wir uns schon wegen unserer körperlichen Organisation in der absoluten Unmöglichkeit, uns eine Anschauungsweise einer vierten Dimension vorzustellen.

Schliesslich möchte ich nun noch hervorheben, dass die geometrischen Axiome gar nicht Sätze sind, die nur der reinen Raumlehre angehörten. Sie sprechen, wie ich schon erwähnt habe, von Grössen. Von Grössen kann man nur reden, wenn man irgend welches Verfahren kennt und im Sinne hat, nach dem man diese Grössen vergleichen, in Theile zerlegen und messen kann. Alle Raummessung und daher überhaupt alle auf den Raum angewendeten Grössenbegriffe setzen also die Möglichkeit der Bewegung von Raumgebilden voraus, deren Form und Grösse man trotz der Bewegung für unveränderlich halten darf. Solche Raumformen pflegt man in der Geometrie allerdings nur als geometrische Körper, Flächen, Winkel, Linien zu bezeichnen, weil man von allen anderen Unterschieden physikalischer und chemischer Art, welche die Naturkörper zeigen, abstrahirt; aber man bewahrt doch die eine physikalische Eigenschaft derselben, die Festigkeit. Für die Festigkeit der Körper und Raumgebilde haben wir aber kein anderes Merkmal, als dass sie, zu jeder Zeit und an jedem Orte und nach jeder Drehung aneinander gelegt, immer wieder dieselben Congruenzen zeigen, wie vorher. Ob sich aber die aneinander gelegten Körper nicht selbst beide in gleichem Sinne verändert haben, können wir auf rein geometrischem Wege, ohne mechanische Betrachtungen hinzuzunehmen, gar nicht entscheiden.

Wenn wir es zu irgend einem Zwecke nützlich fänden, so könnten wir in vollkommen folgerichtiger Weise den Raum, in welchem wir leben, als den scheinbaren Raum hinter einem Convexspiegel mit verkürztem und zusammengezogenem Hintergrunde betrachten; oder wir könnten eine abgegrenzte Kugel unseres Raumes, jenseits deren Grenzen wir nichts mehr wahrnehmen, als den unendlichen pseudosphärischen Raum betrachten. Wir müssten dann nur den Körpern, welche uns als fest erscheinen, und ebenso unserem eigenen Leibe gleichzeitig die entsprechenden Dehnungen und Verkürzungen zuschreiben, und würden allerdings das System unserer mechanischen Principien gleichzeitig gänzlich verändern müssen; denn schon der Satz, dass jeder bewegte Punkt, auf den keine Kraft wirkt, sich in gerader Linie mit unveränderter Geschwindigkeit fortbewegt, passt auf das Abbild der Welt im Convexspiegel nicht mehr. Die Bahnlinie wäre zwar noch gerade, aber die Geschwindigkeit abhängig vom Orte.

Die geometrischen Axiome sprechen also gar nicht über Verhältnisse des Raumes allein, sondern gleichzeitig auch über das mechanische Verhalten unserer festesten Körper bei Bewegungen. Man könnte freilich auch den Begriff des festen geometrischen Raumgebildes als einen transcendentalen Begriff auffassen, der unabhängig von wirklichen Erfahrungen gebildet wäre, und dem diese nicht nothwendig zu entsprechen brauchten, wie ja unsere Naturkörper thatsächlich ganz rein und ungestört nicht einmal denjenigen Begriffen entsprechen, die wir auf dem Wege der Induction von ihnen abstrahirt haben. Unter Hinzunahme eines solchen nur als Ideal concipirten Begriffs der Festigkeit könnte dann ein strenger Kantianer allerdings die geometrischen Axiome als a priori durch transcendentale Anschauung gegebene Sätze betrachten, die durch keine Erfahrung bestätigt oder widerlegt werden könnten, weil man erst nach ihnen zu entscheiden hätte, ob irgend welche Naturkörper als feste Körper zu betrachten seien. Dann müssten wir aber behaupten, dass unter dieser Auffassung die geometrischen Axiome gar keine synthetischen Sätze im Sinne Kant's wären. Denn sie würden dann nur etwas aussagen, was aus dem Begriffe der zur Messung nothwendigen festen geometrischen Gebilde analytisch folgen würde, da als feste Gebilde nur solche anerkannt werden könnten, die jenen Axiomen genügen.

Nehmen wir aber zu den geometrischen Axiomen noch Sätze hinzu, die sich auf die mechanischen Eigenschaften der Naturkörper beziehen, wenn auch nur den Satz von der Trägheit, oder den Satz, dass die mechanischen und physikalischen Eigenschaften der Körper unter übrigens gleichbleibenden Einflüssen nicht vom Orte, wo sie sich befinden, abhängen können, dann erhält ein solches System von Sätzen einen wirklichen Inhalt, der durch Erfahrung bestätigt oder widerlegt werden, eben deshalb aber auch durch Erfahrung gewonnen werden kann.

Uebrigens ist es natürlich nicht meine Absicht, zu behaupten, dass die Menschheit erst durch sorgfältig ausgeführte Systeme genauer geometrischer Messungen Anschauungen des Raumes, die den Axiomen des Euklides entsprechen, gewonnen habe. Es musste vielmehr eine Reihe alltäglicher Erfahrungen, namentlich die Anschauung von der geometrischen Aehnlichkeit grosser und kleiner Körper, welche nur im ebenen Raume möglich ist, darauf führen, jede geometrische, Anschauung, die dieser Thatsache widersprach, als unmöglich zu verwerfen. Dazu war keine Erkenntniss

des begrifflichen Zusammenhanges zwischen der beobachteten Thatsache geometrischer Aehnlichkeit und den Axiomen nöthig, sondern nur durch zahlreiche und genaue Beobachtungen von Raumverhältnissen gewonnene anschauliche Kenntniss ihres typischen Verhaltens; eine solche Art der Anschauung, wie sie der Künstler von den darzustellenden Gegenständen besitzt und mittelst deren er sicher und fein entscheidet, ob eine versuchte neue Combination der Natur des darzustellenden Gegenstandes entspricht, oder nicht. Das wissen wir zwar in unserer Sprache auch mit keinem anderen Namen als dem der „Anschauung“ zu bezeichnen; aber es ist dies eine empirische, durch Häufung und Verstärkung gleichartig wiederkehrender Eindrücke, in unserem Gedächtniss gewonnene Kenntniss, keine transcendentale und vor aller Erfahrung gegebene Anschauungsform. Dass dergleichen empirisch erlangte und noch nicht zur Klarheit des bestimmt ausgesprochenen Begriffs durchgearbeitete Anschauungen eines typischen gesetzlichen Verhaltens häufig genug den Metaphysikern als a priori gegebene Sätze imponirt haben, brauche ich hier nicht weiter zu erörtern.

Zum Gedächtniss an Gustav Magnus

Rede
gehalten in der Leibnitzsitzung der Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 6. Juli
1871

Es ist mir der ehrenvolle Auftrag geworden, im Namen dieser Akademie auszusprechen, was sie an Gustav Magnus verlor, der ihr dreissig Jahre lang angehörte. Als dankbarem Schüler, als Freund, endlich als dem Amtsnachfolger des Geschiedenen war es mir eine Freude, wie eine Pflicht, einer solchen Aufforderung nachzukommen. Aber ich finde den besten Theil meines Werkes bereits gethan durch unseren Collegen A. W. Hofmann im Auftrage der Deutschen chemischen Gesellschaft, deren Vorsitzender er ist. Er hat die Aufgabe, von Magnus' Leben und Wirken ein Bild zu geben, in eingehendster und liebevollster Weise gelöst. Er ist mir nicht nur der Zeit nach zuvorgekommen, sondern er hat zu dem Geschiedenen auch in viel engeren und häufigeren persönlichen Beziehungen gestanden, als ich; anderntheils ist er für eine Hauptseite von Magnus' Thätigkeit, nämlich die chemische, viel mehr als ich berechtigt, ein sachverständiges Urtheil abzugeben.

Dadurch beschränkt sich erheblich das, was für mich zu thun noch übrig bleibt. Ich werde kaum noch als Biograph von Magnus reden dürfen, sondern nur noch davon, was Magnus uns war, und davon, was er der Wissenschaft war, deren Vertretung die uns zugewiesene Aufgabe ist.

Auch war in der That sein Leben nicht reich an äusseren Ereignissen und Wechselfällen; es war das friedliche Leben eines Mannes, der in sorgenfreien äusseren Verhältnissen, erst als Glied, dann als Haupt einer geachteten, begabten und liebenswürdigen Familie, seine Befriedigung in wissenschaftlicher Arbeit, in der Verwerthung wissenschaftlicher Ergebnisse zur Lehre und zum Nutzen der Menschen suchte und reichlich fand. Am 2. Mai 1802 wurde Heinrich Gustav Magnus zu Berlin geboren, als der vierte von sechs Brüdern, die sich nach mannigfachen Rich-

tungen hin durch ihre Fähigkeiten ausgezeichnet haben. Der Vater, Johann Matthias, war der Chef eines grossen Handlungshauses, und suchte seinen Kindern vor Allem eine freie Entwickelung ihrer individuellen Anlagen und Neigungen zu gewähren. Unser geschiedener Freund zeigte schon früh grössere Neigung zu mathematischen und naturwissenschaftlichen Studien, als zu sprachlichen. Der Vater regelte seinen Unterricht dem entsprechend, indem er ihn von dem Werder'schen Gymnasium wegnahm und in das Cauer'sche Privat-Institut schickte, in welchem den realistischen Fächern mehr Rechnung getragen wurde. Später von 1822 bis 1827 widmete sich Magnus an der Berliner Universität ganz dem naturwissenschaftlichen Studium. Ehe er seine ursprüngliche Absicht, sich für Technologie zu habilitiren, ausführte, verwendete er noch zwei Jahre darauf, sich auf Reisen fortzubilden, vorzugsweise bei Berzelius längere Zeit in Stockholm, dann in Paris bei Dulong, Thénard, Gay-Lussac verweilend. Auf diese Weise ungewöhnlich gut und reich vorbereitet, habilitirte er sich 1831 an der hiesigen Universität zunächst für Technologie, später auch für Physik, wurde 1834 zum ausserordentlichen, 1845 zum ordentlichen Professor ernannt, und zeichnete sich durch seine wissenschaftlichen Arbeiten in dieser Zeit so aus, dass er schon neun Jahre nach seiner Habilitation, am 27. Januar 1840, zum Mitgliede dieser Akademie erwählt wurde. Von 1832 bis 1840 hat er auch an der Artillerie- und Ingenieurschule Physik, von 1850 bis 1856 an dem Gewerbe-Institut chemische Technologie gelehrt. Lange Zeit hielt er die Vorlesungen in seinem eigenen Hause mit seinen eigenen Instrumenten, die allmälig zu einer der stattlichsten physikalischen Sammlungen anwuchsen, und die später vom Staate für die Universität angekauft wurden. Dann verlegte auch Magnus seine Vorlesungen in das Universitätsgebäude, und behielt nur das Laboratorium für seine eigenen und die Arbeiten seiner Schüler in seinem Hause.

So floss sein Leben in ruhiger aber unablässiger Wirksamkeit für seine Wissenschaft ungestört dahin; Reisen, bald für wissenschaftliche oder technische Studien, mehrere Male auch im Auftrage des Staats unternommen, bald der Erholung gewidmet, unterbrachen von Zeit zu Zeit seine hiesige Arbeit. Daneben beanspruchte der Staat seine sachverständige Erfahrung und seine Geschäftskenntniss in mancherlei Commissionen; unter diesen ist namentlich seine Theilnahme an den chemischen Berathungen des Landes-Oekonomie-Collegiums zu erwähnen, denen

er grosses Interesse und viel von seiner Zeit widmete, vor Allem in Bezug auf die grossen praktischen Fragen der Agriculturchemie.

Nach 67 Jahren fast ungestörter Gesundheit verfiel er gegen Ende des Jahres 1869 in eine schmerzhafte Krankheit. Bis zum 25. Februar 1870 hat er noch seine Vorlesungen über Physik fortgesetzt, im Laufe des März aber kaum mehr sein Lager verlassen können; am 4. April verschied er.

Magnus ist eine reich angelegte Natur gewesen, welche unter glücklichen äusseren Umständen sich nach ihrer Eigenart entwickeln und sich ihre Thätigkeit frei nach eigenem Sinne wählen durfte. Dieser Sinn aber war so beherrscht von Besonnenheit und erfüllt, ich möchte sagen, von künstlerischer Harmonie, die das Maasslose und Unreine scheute, dass er die Ziele seiner Arbeit weise zu wählen und deshalb auch fast immer zu erreichen wusste. Ebendarum stimmt auch die Richtung und die Art von Magnus' Thätigkeit mit seiner geistigen Eigenart so vollkommen zusammen, wie das bei nur wenigen Glücklichen unter den Sterblichen der Fall zu sein pflegt. Die harmonische Anlage und Ausbildung seines Geistes gab sich auch äusserlich in der natürlichen Anmuth seines Betragens, in der wohlthuenden Heiterkeit und Sicherheit seines Wesens, in der warmen Liebenswürdigkeit seines Verkehrs mit Anderen zu erkennen. Es lag in allem diesem viel mehr, als die blosse Erlernung der äusseren Formen der Höflichkeit jemals erreichen kann, wenn sie nicht von warmer Theilnahme und feinem Gefühl für das Schöne durchleuchtet wird.

Von früh her gewöhnt an die geregelte und besonnene Thätigkeit des kaufmännischen Hauses, in dem er aufwuchs, behielt er von diesem die Gewandtheit in Geschäften, die er so oft in den Verwaltungsangelegenheiten dieser Akademie, der philosophischen Facultät und verschiedener staatlicher Commissionen zu bethätigen hatte. Er behielt von daher die saubere Ordnungsliebe, die Richtung auf die Wirklichkeit und das Praktisch-Erreichbare, wenn auch das Hauptziel seiner Thätigkeit ein ideales wurde. Er hatte begriffen, dass nicht der behagliche Genuss einer sorgenfreien Existenz und des Verkehrs in dem liebenswürdigsten Kreise von Angehörigen und Freunden eine dauernde Befriedigung giebt, sondern nur die Arbeit, und zwar nur die uneigennützige Arbeit für ein ideales Ziel. So arbeitete er, nicht für die Vermehrung seiner Reichthümer, sondern für die Wissenschaft; nicht dilettan-

tisch und launisch, sondern nach einem festen Ziel und unermüdlich; nicht in Eitelkeit nach auffallenden Entdeckungen haschend, die seinen Namen hätten schnell berühmt machen können, sondern er wurde im Gegentheil ein Meister der treuen, geduldigen und bescheidenen Arbeit, welche ihr Werk immer wieder prüft und nicht eher davon ablässt, bis sie nichts mehr daran zu bessern weiss. Solche Arbeit ist es aber auch, die durch die klassische Vollendung ihrer Methode, durch die Genauigkeit und Zuverlässigkeit ihrer Resultate den besten und dauerndsten Ruhm verdient und erringt. Meisterstücke mustergiltiger Vollendung sind unter den Arbeiten von Magnus namentlich die über die Ausdehnung der Gase durch die Wärme, und über die Spannkraft der Dämpfe. Ohne von Magnus zu wissen, arbeitete damals gleichzeitig mit ihm an denselben Aufgaben ein anderer Meister in solcher Arbeit, und zwar der erfahrensten und berühmtesten einer, nämlich Regnault in Paris. Die Resultate beider Forscher wurden fast gleichzeitig veröffentlicht und zeigten durch ihre ausserordentlich nahe Uebereinstimmung, mit welcher Treue und mit welchem Geschick beide gearbeitet hatten. Wo aber noch Differenzen sich zeigten, wurden diese schliesslich zu Magnus' Gunsten entschieden.

In ganz besonders charakteristischer Weise aber zeigte sich die Reinheit und Uneigennützigkeit, mit der Magnus den idealen Zweck seines Strebens festhielt, in der Art und Weise, wie er jüngere Männer zu wissenschaftlichen Arbeiten heranzog, und, sobald er bei ihnen Eifer und Fähigkeit für die Wissenschaft zu entdecken glaubte, ihnen seine Instrumente und die Hülfsmittel seines Privatlaboratoriums zur Verfügung stellte. Dies war die Art, wie auch ich einst in nähere Beziehung zu ihm getreten bin, als ich mich zur Absolvirung der medicinischen Staatsprüfungen in Berlin befand. Er forderte mich damals auf — ich selbst würde nicht gewagt haben ihn darum zu bitten — meine Versuche über Gährung und Fäulniss nach neuen Richtungen hin auszudehnen und andere Methoden, die grössere Hülfsmittel erforderten, als ein junger von seinem Solde lebender Militärarzt sich verschaffen konnte, dazu anzuwenden. Ich habe damals etwa drei Monate bei ihm fast täglich gearbeitet und habe dadurch einen tiefen und bleibenden Eindruck von seiner Güte, seiner Uneigennützigkeit, seiner vollkommenen Freiheit von wissenschaftlicher Eifersucht gewonnen. Nicht allein, dass er durch ein solches Verfahren den äusserlichen Vortheil aufgab, den einem

ehrgeizigen Manne der Besitz einer der reichsten Instrumentensammlungen vor allen Mitbewerbern gesichert haben würde; er nahm auch mit freundlichem Gleichmuth alle die kleinen Aergerlichkeiten und Belästigungen hin, welche die Ungeschicklichkeit und Hastigkeit jugendlicher Experimentatoren beim Gebrauche kostbarer und in peinlichster Sauberkeit gehaltener Instrumente mit sich bringt. Noch weniger war die Rede davon, dass er nach der Sitte der Gelehrten anderer Nationen die Arbeitskräfte der Jüngeren für seine eigenen Zwecke und zur Verherrlichung seines eigenen Namens ausgebeutet hätte. Man fing damals an, nach Liebig's Vorgang, chemische Laboratorien einzurichten; von physikalischen, die übrigens sehr viel schwerer zu organisiren sind, bestand meines Wissens zu jener Zeit kein einziges. Ihre Gründung ist von Magnus ausgegangen.

In diesem Verhältnisse besonders zeigt sich ein wesentlicher Theil von der inneren Richtung des Mannes, den wir bei der Beurtheilung seines Werthes nicht vernachlässigen dürfen; er war nicht nur ein Forscher, er war auch ein Lehrer der Wissenschaft, diesen Begriff im höchsten und weitesten Sinne genommen. Er wollte sie nicht in der Studirstube und im Hörsaale abgeschlossen wissen, er wollte, dass sie direct hinauswirke in alle Verhältnisse des Lebens; in seinem regen Interesse für die Technologie, in seiner eifrigen Theilnahme an den Arbeiten des Landes-Oekonomie-Collegiums spiegelt sich diese Seite seines Strebens deutlich ab; ebenso in der grossen Sorgfalt, die er auf die Vorbereitung der Vorlesungsversuche verwendete, wie in der sinnreichen Ausbildung des instrumentalen Apparats für diese Art von Versuchen. Hierfür ist die von ihm gegründete, und jetzt mir, als seinem Nachfolger, von der Universität zur Benutzung überwiesene Sammlung seiner Instrumente der beredteste Zeuge. Alles ist in saubersten Haltung und in vortrefflichster Leistungsfähigkeit; wo zu dem auszuführenden Versuche ein seidener Faden, eine Glasröhre oder ein Kork nöthig sind, kann man darauf rechnen, sie neben dem Instrumente zu finden. Alle von ihm herrührenden Apparate sind gebaut mit den besten Mitteln, die dazu herbeigeschafft werden konnten, ohne am Material oder an der Arbeit des Mechanikers zu sparen, so dass der Erfolg des Versuchs möglichst gesichert wird, und derselbe in nicht zu kleinem Maassstabe und möglichst weithin sichtbar in die Augen fällt.

Ich weiss mich aber auch sehr wohl noch des Erstaunens

und der Bewunderung zu erinnern, mit der wir, als Studenten, ihn experimentiren sahen. Nicht bloss, dass alle Experimente glänzend und vollständig gelangen, sondern sie störten und beschäftigten ihn scheinbar gar nicht in seinen Gedanken. Der ruhige und klare Fluss seiner Rede ging ohne Unterbrechung vorwärts; jeder Versuch trat an seiner Stelle ein, vollendete sich rasch, ohne Hast und ohne Stocken und wurde wieder verlassen.

Er wollte nicht, dass, was er als Hülfsmittel wissenschaftlicher Arbeit gesammelt und construirt hatte, zerstreut und dem Zwecke entfremdet würde, dem er sein Leben gewidmet hatte. In diesem Sinne hat er denn auch den Rest der Apparate aus seinem Laboratorium, die eigentlichen Arbeitsinstrumente, sowie seine sehr reiche und werthvolle Bibliothek testamentarisch der Universität vermacht, und so einen kostbaren Grund zur weiteren Entwickelung eines öffentlichen physikalischen Instituts gelegt.

Es wird genügen, in diesen wenigen Zügen die geistige Individualität des geschiedenen Freundes zurückgerufen zu haben, so weit in ihnen die Quellen für die Richtung seiner Thätigkeit zu finden sind. Ein lebhafteres Bild wird Ihnen allen, die Sie dreissig Jahre mit ihm zusammenwirkten, die persönliche Erinnerung gewähren.

Wenn wir uns nun zur Besprechung der Ergebnisse und Erfolge seiner Arbeiten wenden, so genügt es dazu nicht, dass wir die Reihe seiner akademischen und wissenschaftlichen Schriften durchgehen und zu beurtheilen suchen. Ich habe schon hervorgehoben, dass ein hervorragender Theil seiner Wirksamkeit auf die Mitlebenden gerichtet war; und dazu kommt, dass sein Leben in eine Zeit fällt, in welcher die Naturwissenschaften einen Entwickelungsprozess von einer solchen Schnelligkeit durchgemacht haben, wie ein ähnlicher in der Geschichte der Wissenschaften wohl in keinem anderen Falle vorgekommen ist. Die Männer aber, welche einer solchen Zeit angehören und an einer solchen Entwickelung mit gearbeitet haben, erscheinen ihren Nachfolgern, denen sie den Platz bereitet, leicht in falscher Perspective, weil der beste Theil ihrer Arbeit diesen schon als etwas fast Selbstverständliches erscheint, von dem zu sprechen kaum noch der Mühe lohnt.

Es wird uns jetzt schwer, uns zurückzuversetzen in den Zustand der naturwissenschaftlichen Bildung, wie er in den ersten zwanzig Jahren dieses Jahrhunderts in Deutschland wenigstens

bestand. Magnus wurde 1802 geboren, ich selbst 19 Jahre später; wenn ich auf meine frühesten Jugenderinnerungen zurückgreife, als ich aus den im Besitze meines Vaters, der selbst einst im Cauer'schen Institute unterrichtet hatte, befindlichen Lehrbüchern anfing Physik zu studiren, so taucht mir noch ein dunkles Bild eines Vorstellungskreises auf, der uns jetzt ganz mittelalterlich alchymistisch anmuthen würde. Von Lavoisier's und Davy's umwälzenden Entdeckungen war noch nicht viel in die Schulbücher gedrungen. Obgleich man den Sauerstoff schon kannte, spielte daneben doch auch das Phlogiston, der Feuerstoff, seine Rolle. Das Chlor war noch die oxygenirte Salzsäure, das Kali und die Kalkerde waren noch Elemente. Die wirbellosen Thiere theilten sich noch in Insecten und Würmer, und in der Botanik zählte man Staubfäden.

Es ist seltsam zu sehen, wie spät und zögernd sich die Deutschen in unserem Jahrhundert dem Studium der Naturwissenschaften zugewendet haben, während sie doch an deren früherer Entwickelung hervorragenden Antheil genommen hatten. Ich brauche nur Copernicus, Kepler, Leibnitz, Stahl zu nennen.

Wir dürfen uns doch sonst einer leidenschaftlichen, rücksichtslosen und uneigennützigen Liebe zur Wahrheit rühmen, die vor keiner Autorität und vor keinem Scheine Halt macht, kein Opfer und keine Arbeit scheut und sehr genügsam in ihren Ansprüchen auf äusseren Erfolg ist. Aber eben deshalb treibt sie uns immer an, vor Allem die principiellen Fragen bis in ihre tiefsten Gründe zu verfolgen und uns wenig zu kümmern um das, was mit den letzten Gründen der Dinge keinen deutlichen Zusammenhang hat; namentlich auch wenig um die praktischen Consequenzen und die nützlichen Anwendungen. Dazu kam noch ein äusserer Grund, nämlich der, dass die selbständige geistige Entwickelung der letzten drei Jahrhunderte unter politischen Zuständen begann, die das Hauptgewicht auf die theologischen Studien fallen liessen. Deutschland hat Europa von der Zwingherrschaft der alten Kirche befreit; aber es hat auch einen viel theureren Preis für diese Befreiung zahlen müssen, als die anderen Nationen. Es blieb nach den Religionskriegen zurück, verwüstet, verarmt, politisch zerbrochen, an seinen Grenzen beschädigt, übermüthig gewordenen Nachbarn wehrlos preisgegeben. Um die Consequenzen der neuen sittlichen Anschauungen zu ziehen, sie wissenschaftlich zu prüfen, in alle Gebiete des Geisteslebens hin-

ein durchzuarbeiten, dazu war während der Stürme des Krieges keine Zeit gewesen; da musste jeder zu seiner Partei halten, jeder Anfang von Meinungsverschiedenheit erschien als Verrath und erregte bitteren Zorn. Das geistige Leben hatte durch die Reformation seinen festen Halt und seinen alten Zusammenhang verloren. Alles musste in neuem Lichte erscheinen und neue Fragen aufregen. Mit äusserlicher Uniformität konnte sich der deutsche Geist nicht beruhigen; wo er nicht überzeugt und befriedigt war, liess er seine Zweifel nicht schweigen. So war es die Theologie, neben ihr die klassische Philologie und die Philosophie, welche theils als Hülfswissenschaften der Theologie, theils durch das, was sie selbst für die Lösung der neu auftauchenden sittlichen, ästhetischen und metaphysischen Probleme leisten konnten, das Interesse der wissenschaftlich Gebildeten fast ausschliesslich in Anspruch nahmen. Deshalb erklärt es sich wohl, dass die protestantischen Nationen, sowie der Theil der Katholiken, welcher, in seinem alten Glauben wankend gemacht, nur äusserlich bei seiner Kirche blieb, sich mit verzehrendem Eifer auf die Philosophie stürzten. Man hatte ja hauptsächlich ethische und metaphysische Probleme zu lösen; auch die Kritik der Erkenntnissquellen musste vorgenommen werden, und sie wurde es mit viel tieferem Ernst als früher. Ich brauche an die wirklichen Resultate, die das vorige Jahrhundert aus dieser Arbeit gewann, hier nicht zu erinnern. Sie erregten schwungvolle Hoffnungen, und die Metaphysik hat, wie sich nicht leugnen lässt, eine gefährliche Anziehung für den deutschen Geist; er konnte nicht eher von ihr wieder ablassen, als bis er alle ihre Schlupfwinkel durchsucht und sich überzeugt hatte, dass dort für jetzt nichts mehr zu finden sei.

Daneben fing in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts das verjüngte geistige Leben der Nation an, seine künstlerischen Blüthen zu treiben, die unbeholfene Sprache bildete sich zu einem der ausdruckvollsten Werkzeuge des menschlichen Geistes um; aus den meist noch harten, ärmlichen und unerquicklichen bürgerlichen und politischen Zuständen, den Folgen der Religionskriege, in welche die Gestalt des preussischen Heldenkönigs nur eben die erste Hoffnung einer besseren Zukunft geworfen, denen dann freilich wieder das Elend der Napoleonischen Kriege gefolgt war, aus dieser freudlosen Existenz flüchteten sich alle empfindsamen Gemüther gern in das Blüthenland, welches die deutsche Poesie, mit den Besten aller Zeiten und Völker wetteifernd, auf-

schloss, oder in die erhabenen Aussichten der Philosophie; man suchte die Wirklichkeit durch Vergessen zu überwinden.

Und die Naturwissenschaften lagen auf der Seite dieser gern übersehenen Wirklichkeit. Nur die Astronomie konnte schon damals grosse und erhabene Ausblicke bieten. In allen anderen Zweigen war noch lange und geduldige Arbeit nöthig, ehe sie zu grossen Principien aufsteigen, ehe sie mitsprechen konnten in den grossen Problemen des menschlichen Lebens, oder ehe sie das gewaltige Mittel der Herrschaft des Menschen über die Naturmächte wurden, welches sie seitdem geworden sind. Die Arbeit des Naturforschers erschien eng, niedrig, gleichgiltig neben den grossen Conceptionen der Philosophen und Dichter; höchstens solche Naturforscher, welche, wie Oken, sich in philosophisch-dichterischer Anschauungsform bewegten, fanden williges Gehör.

Fern sei es von mir in einseitiger Betonung der naturwissenschaftlichen Interessen diese Zeit begeisterten Rausches herabsetzen zu wollen; in der That verdanken wir ihr die sittliche Kraft, welche das Napoleonische Joch brach, wir verdanken ihr die grossen Dichtungen, welche der edelste Schatz unserer Nation sind. Aber die Wirklichkeit behält ihr Recht gegen jeden Schein, auch gegen den schönsten, und Individuen wie Nationen, welche zur Mannesreife sich entwickeln wollen, müssen lernen der Wirklichkeit in das Gesicht zu schauen, um die Wirklichkeit unter die Zwecke des Geistes zu beugen. Sich in eine ideale Welt flüchten, ist eine falsche Hülfe von kurzdauerndem Erfolge. Sie erleichtert nur den Gegnern ihr Spiel; und wenn das Wissen immer nur sich selbst spiegelt, so wird es gegenstandslos und leer, oder löst sich in Illusionen und Phrasen auf.

Die Reaction gegen die Verirrungen einer Geistesrichtung, die anfangs dem natürlichen Schwung eines jugendfrischen Anlaufs entsprach, dann aber im Epigonenzeitalter der romantischen Schule und der Identitätsphilosophie in sentimentales Haschen nach Erhabenheit und Begeisterung verfiel, ist, wie wir Alle wissen, eingetreten und durchgeführt worden, nicht bloss im Gebiete der Naturwissenschaften, sondern auch im Kreise der Geschichte, der Kunstwissenschaft, der Sprachforschung. Auch in den letztgenannten Gebieten, wo man mit Thätigkeitsäusserungen des menschlichen Geistes direct zu thun hat, und wo deshalb eine Construction a priori aus den psychologischen Gesetzen viel eher möglich erscheint als der Natur gegenüber, hat man begriffen, dass man

erst die Thatsachen kennen muss, ehe man ihre Gesetze aufstellen kann.

Gustav Magnus' Entwickelung fällt in die Zeit dieses Kampfes hinein; es lag in der ganzen Richtung seines Geistes, dass er, so sehr er sonst nach seiner milden Art Gegensätze zu versöhnen suchte, entschieden Partei ergriff, und zwar zu Gunsten der reinen Erfahrung gegen die Speculation. Wenn er auch vermied Personen zu verletzen, so muss doch anerkannt werden, dass er von dem Princip, das er mit sicherem Takt als das Richtige erkannt hatte, nicht ein Jota nachliess. Er kämpfte an entscheidendster Stelle in doppeltem Sinne; einmal weil es sich in der Physik um die Grundlagen der ganzen Naturwissenschaft handelt, und dann, weil die zahlreich besuchte Universität Berlin die am längsten gehaltene Festung der Speculation war. Er predigte seinen Schülern fortdauernd, dass der Wirklichkeit gegenüber kein Raisonnement, und sähe es noch so plausibel aus, dass vielmehr nur die Beobachtung und der Versuch entscheidet; und er verlangte stets, dass jeder ausführbare Versuch, der eine thatsächliche Bestätigung oder Widerlegung eines hingestellten Gesetzes oder einer Erklärung geben könne, gemacht werde. Er selbst ging hierin mit dem besten Beispiele voran. Er beschränkte auch die Anwendbarkeit der ächten naturwissenschaftlichen Methode keineswegs auf die Erforschung der leblosen Natur, sondern er führte in seiner Arbeit über die Gase des Blutes (1837) einen Stoss bis in das Herz der vitalistischen Theorien; er führte die Physik bis in den Mittelpunkt des organischen Stoffwechsels ein, indem er den wissenschaftlichen Grund für die richtige Theorie der Athmung legte, einen Grund, auf dem eine grosse Anzahl späterer Forscher weiter gearbeitet haben, und auf dem sich eines der wichtigsten und folgenreichsten Capitel der Physiologie entwickelt hat.

Nicht zu wenig Entschiedenheit in der Durchführung seines Princips konnte man ihm vorwerfen; wohl aber waren wir, ich selbst und manche meiner Genossen, früher der Meinung, dass Magnus sein Misstrauen gegen die Speculation namentlich in Bezug auf die mathematische Physik zu weit treibe. Er hatte sich in mathematisch-physikalische Studien wohl niemals sehr vertieft, und das bestärkte uns damals in unserem Zweifel. Dennoch, wenn wir uns von dem Standpunkte, den jetzt die Wissenschaft erreicht hat, umsehen, müssen wir anerkennen, dass auch sein Misstrauen gegen die damalige mathematische Physik nicht

unbegründet war. Auch in ihr war noch nicht rein geschieden, was erfahrungsmässige Thatsache, was blosse Wortdefinition und was nur Hypothese war. Das unklare Gemisch aus diesen Elementen, welches die Grundlagen der Rechnung bildete, suchte man für Axiome von metaphysischer Nothwendigkeit auszugeben und nahm eine ähnliche Art der Nothwendigkeit auch für die Folgerungen in Anspruch. Ich brauche nur daran zu erinnern, welche grosse Rolle in den mathematisch durchgeführten Theorien aus der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts die Hypothesen über den atomistischen Bau der Körper spielten, während man von den Atomen noch so gut wie nichts wusste, und zum Beispiel den ausserordentlich wichtigen Einfluss, den die Wärmebewegung auf die Molecularkräfte hat, noch kaum ahnte. Jetzt wissen wir zum Beispiel, dass das Ausdehnungsstreben der Gase nur auf der Wärmebewegung beruht; in jener Periode galt die Wärme noch bei den meisten Physikern als ein imponderabler Stoff. Ueber die Atome in der theoretischen Physik sagt Sir William Thomson sehr bezeichnend, dass keine Eigenschaft der Körper, die nicht vorher den Atomen selbst beigelegt wurde, durch ihre Annahme erklärt werden kann. Ich will mich, indem ich diesem Ausspruch beipflichte, hiermit keineswegs gegen die Existenz der Atome erklären, sondern nur gegen das Streben aus rein hypothetischen Annahmen über Atombau der Naturkörper die Grundlagen der theoretischen Physik herzuleiten. Wie wissen jetzt, dass manche von diesen Hypothesen, die ihrer Zeit viel Beifall fanden, bei der Wahrheit weit vorbeischossen. Auch die mathematische Physik hat einen anderen Charakter angenommen in Deutschland unter den Händen von Gauss, von F. E. Neumann und ihren Schülern, in England unter denjenigen Mathematikern, die sich an Faraday anschlossen, wie Stokes, William Thomson, Clerk Maxwell. Man hat begriffen, dass auch die mathematische Physik eine reine Erfahrungswissenschaft ist; dass sie keine anderen Principien zu befolgen hat, als die experimentelle Physik. Unmittelbar in der Erfahrung finden wir nur ausgedehnte mannigfach gestaltete und zusammengesetzte Körper vor uns; nur an solchen können wir unsere Beobachtungen und Versuche machen. Deren Wirkungen sind zusammengesetzt aus den Wirkungen, welche alle ihre Theile zu der Summe des Ganzen beitragen, und wenn wir also die einfachsten und allgemeinsten Wirkungsgesetze der in der Natur vorgefundenen Massen und Stoffe auf einander kennen lernen und diese Gesetze namentlich befreien wollen von den Zufällig-

keiten der Form, der Grösse und Lage der zusammenwirkenden Körper, so müssen wir zurückgehen auf die Wirkungsgesetze der kleinsten Volumtheile, oder wie die Mathematiker es bezeichnen, der Volumelemente. Diese aber sind nicht, wie die Atome, disparat und verschiedenartig, sondern continuirlich und gleichartig.

Die charakteristischen Eigenschaften der Volumelemente verschiedener Körper sind auf dem Wege der Erfahrung zu finden, entweder direct, wo die Kenntniss der Summe genügt, um die Summanden zu finden, oder hypothetisch, wo die berechnete Summe der Wirkungen in möglichst verschiedenartigen Fällen durch Beobachtung und Versuch mit der Wirklichkeit verglichen werden muss. Somit ist anerkannt, dass die mathematische Physik nur die einfachen, von den Zufälligkeiten der Körperform befreiten Wirkungsgesetze der Körperelemente auf rein empirischem Wege zu suchen hat und der Controle der Erfahrung genau ebenso unterworfen ist, wie die sogenannte experimentelle Physik; ja dass beide principiell gar nicht geschieden sind und die mathematische nur das Geschäft der experimentellen Physik fortsetzt, um immer einfachere und allgemeinere Gesetze der Erscheinungen zu entdecken.

Es ist unverkennbar, dass auch diese analysirende Richtung der physikalischen Forschung einen anderen Charakter angenommen hat, dass sie gerade das abgelegt hat, was Magnus zu ihr in einen, wenn auch meist nur leise angedeuteten, inneren Widerspruch brachte. Er pflegte, wenigstens in früheren Jahren, darauf zu bestehen, dass das Geschäft des mathematischen und des experimentellen Physikers ganz von einander zu trennen sei; dass ein junger Mann, der Physik betreiben wolle, sich zwischen der einen und der anderen Richtung zu entscheiden habe. Gegenwärtig scheint es mir, als wenn immer mehr, und mit Recht, die Ueberzeugung Boden gewönne, dass in dem entwickelteren Zustande der Wissenschaft nur derjenige fruchtbar experimentiren könne, der eine eindringende Kenntniss der Theorie hat und ihr gemäss die rechten Fragen zu stellen und zu verfolgen weiss; und andererseits, dass nur derjenige fruchtbar theoretisiren könne, der eine breite praktische Erfahrung im Experimente hat. Die Entdeckung der Spectralanalyse war eines der glänzendsten Beispiele solcher Durchdringung des theoretischen Verständnisses und der Experimentirkunst, das unserer Erinnerung noch ganz nahe liegt.

Ich weiss nicht, ob Magnus in späterer Zeit sich über das Verhältniss der experimentellen und mathematischen Physik anders

als früher geäussert hat. Jedenfalls müssen auch diejenigen, welche seine frühere Abwendung von der mathematischen Physik als eine etwas zu weit getriebene Reaction gegen den Missbrauch der Speculation auffassen möchten, anerkennen, dass ihm die ältere mathematische Physik wohl manchen Grund zu einer solchen Abwendung gab, und dass er mit der grössten Freudigkeit aufnahm, was Kirchhoff, William Thomson und Andere von neuen Thatsachen aus theoretischen Ausgangspunkten entwickelt hatten. Es sei mir erlaubt, in dieser Beziehung hier mein persönliches Zeugniss abzulegen. Meine eigenen Arbeiten sind meist auf die Weise, gegen welche Magnus Verwahrung einzulegen pflegte, erwachsen; dennoch habe ich bei ihm stets die bereitwilligste und freundlichste Anerkennung gefunden.

Aber natürlich ist es, dass jeder, auf seine eigene Erfahrung gestützt, den Weg, der seiner Natur am besten entspricht, auf dem er selbst am schnellsten vorwärts gekommen ist, auch Anderen als den förderlichsten empfiehlt. Und wenn wir nur alle darüber einig sind, dass die Wissenschaft zur Aufgabe hat, die Gesetze der Thatsachen zu finden, so kann man es einem Jeden überlassen, je nach seiner Neigung sich entweder frisch in die Thatsachen zu stürzen und zu suchen, wo ihm die Spuren noch unbekannter Gesetze aufstossen mögen, oder aber von den schon bekannten Gesetzen her die Punkte aufzusuchen, wo neue Thatsachen zu entdecken sein werden. Aber ebenso gut, wie wir alle mit Magnus Widerspruch einlegen werden gegen den Theoretiker, der nicht für nöthig hält, die Folgerungen aus seinen ihm als Axiome erscheinenden Hypothesen an der Erfahrung zu prüfen, so würde sich Magnus — das zeigen seine Arbeiten entschieden — mit uns gegen diejenige Art des modernsten übertriebenen Empirismus erklären, welche darauf ausgeht, Thatsachen, die sich unter keine Regel fügen lassen, zu entdecken, und die es auch sorgfältig zu vermeiden pflegt, nach dem Gesetze oder möglichen Zusammenhange der etwa neu entdeckten Thatsachen zu suchen.

Zu erwähnen ist hier, dass in England genau in demselben Sinne und mit dem gleichen Zwecke ein anderer grosser Physiker, nämlich Faraday, wirkte, mit dem Magnus daher auch in herzlichstem Einvernehmen verbunden war. Bei Faraday sprach sich der Gegensatz gegen die bisherigen physikalischen Theorien, welche mit Atomen und in die Ferne wirkenden Kräften operiren, sogar noch schärfer aus als bei Magnus.

Wir müssen ferner anerkennen, dass Magnus mit Erfolg auch da gearbeitet hat, wo er zu Aufgaben hingeführt wurde, die anscheinend mehr für eine mathematische Behandlung geeignet waren; so in seiner Arbeit über die Abweichung der rotirenden Geschosse aus gezogenen Läufen; so in einer Abhandlung über die Form der Wasserstrahlen und ihren Zerfall in Tropfen. In der ersteren hat er durch sehr geschickt angelegte Versuche nachgewiesen, wie der von der unteren Seite gegen die Kugel wirkende Luftwiderstand diese als rotirenden Körper nach einer Seite hin ablenken muss, — nach welcher, hängt von der Richtung der Rotation ab, — und wie in Folge davon auch die Flugbahn in demselben Sinne abgelenkt wird. In der zweiten Abhandlung hat er die verschiedenen Formen der ausfliessenden Wasserstrahlen untersucht, wie sie theils durch die Form der Oeffnung, aus der sie fliessen, theils durch die Art des Zuflusses zu dieser verändert werden, und wie von aussen hinzukommende Erschütterungen ihr Zerfallen in Tropfen bedingen. Dabei hat er zur ruhigen Beobachtung der Erscheinungen eine sehr glückliche Anwendung vom Princip der stroboskopischen Scheiben gemacht, indem er den Strahl durch eine rotirende Scheibe mit schmalen Ausschnitten beobachtete. Mit eigenthümlicher Kunst gruppirt er die äusserst mannigfaltigen Erscheinungen, so dass das Aehnliche in ihnen übersichtlich heraustritt und eine die andere erläutert. Und wenn auch das letzte mechanische Verständniss nicht immer gewonnen wird, so wird doch der Grund für eine grosse Anzahl charakteristischer Züge der einzelnen Erscheinungen deutlich. In dieser Beziehung sind viele seiner Arbeiten — ich möchte hier namentlich die über die ausfliessenden Wasserstrahlen rühmen — vortreffliche Muster für das, was Göthe theoretisch richtig forderte und in seinen physikalischen Arbeiten zu leisten trachtete, was ihm aber nur mit theilweisem Erfolge gelang.

Aber auch da, wo Magnus sich von seinem Standpunkte aus und mit den Kenntnissen seiner Zeit ausgerüstet, vergebens abmüht den Kern der Lösung einer schwierigen Frage zu fassen, wird immer eine Fülle neuer werthvoller Thatsachen an das Licht gefördert. So in der Arbeit über die thermoelektrischen Ketten, wo er richtig sah, dass eine principielle Frage zu lösen war, und selbst am Schlusse erklärt: „Als ich die eben beschriebenen Versuche begann, hoffte ich zuversichtlich zu finden, dass

die thermoelektrischen Ströme von einer Bewegung der Wärme herrührten.“ In diesem Sinne prüfte er namentlich die Fälle, wo die thermoelektrische Kette aus einem einzigen Metalle bestand, welches aber abwechselnd harte und durch Wärme weich gemachte Abtheilungen darbot, oder dessen zur Berührung gebrachte Stücke sehr verschiedene Temperatur hatten. Er überzeugt sich, dass weder das Wärme-Ausstrahlungsvermögen noch die Leitungsfähigkeit für Wärme (diesen Begriff im gewöhnlichen Sinne genommen) den thermoelektrischen Strom bedingen. Schliesslich muss er sich mit der ihn selbst offenbar nicht befriedigenden Erklärung beruhigen, dass zwei ungleich warme Stücke desselben Metalls sich zu einander verhalten, wie zwei ungleichartige Leiter, die nach Art der Flüssigkeiten dem galvanischen Spannungsgesetze nicht folgen. Erst die beiden allgemeinen Gesetze der mechanischen Wärmetheorie führten später zur Lösung. Magnus' Hoffnung war nicht falsch gewesen; William Thomson erkannte, dass Aenderungen in der Leitungsgeschwindigkeit der Wärme, aber solche, die durch die elektrischen Ströme selbst erst hervorgebracht werden, die Quelle dieser Ströme sind.

Es liegt in der Natur der wissenschaftlichen Richtung, der Magnus in seinen Arbeiten folgte, dass sie viele Steine zu dem grossen Gebäude der Wissenschaft herbeiträgt, und ihm immer breitere Stützung und immer höheren Wuchs giebt, ohne dass nothwendig dem neu hinzutretenden Beschauer sogleich ein abgesonderter und sich auszeichnender Theil des Gebäudes als alleiniges Werk dieses oder jenes Forschers nachgewiesen werden könnte. Will man im Einzelnen erklären, wie wichtig jeder Stein an seiner Stelle ist, wie schwer er zu beschaffen war, wie sinnreich bearbeitet er ist, so muss man bei dem Hörer entweder die Kenntniss der ganzen Geschichte des Baues voraussetzen oder sie ihm erst mittheilen, wozu mehr Zeit gehört, als ich heute und hier in Anspruch nehmen darf.

So ist es auch mit den Arbeiten von Magnus. Ueberall, wo er anfasste, hat er eine Fülle neuer und oft überraschender Thatsachen hervorgeholt; er hat sie sorgfältig und zuverlässig beobachtet und in den Zusammenhang des grossen Baues der Wissenschaft eingefügt. Er hat ferner als einen für die Wissenschaft ebenso werthvollen Schatz eine grosse Zahl sinnreich erfundener und fein ausgebildeter neuer Methoden hinterlassen, als Instrumente, mit denen auch künftige Gene-

rationen fortfahren werden, verborgene Adern edlen Metalls ewiger Gesetze in dem scheinbar wüsten und wilden Spiele des Zufalls aufzudecken. Magnus' Namen wird immer in erster Linie genannt werden mit denjenigen, auf deren Arbeit der stolze Bau der Wissenschaft von der Natur beruht; dieser Wissenschaft, welche das Leben der modernen Menschheit so eingreifend umgestaltet hat, sowohl durch ihren geistigen Einfluss, wie durch die Unterwerfung der Naturkräfte unter die Zwecke des Geistes.

Ich habe nur von Magnus' physikalischen Arbeiten geredet und auch hiervon nur diejenigen genannt, welche mir charakteristisch für seine Individualität erschienen. Aber die Zahl seiner Arbeiten ist sehr gross und sie erstrecken sich über weitere Gebiete, als ein einzelner Forscher gegenwärtig noch zu umfassen vermag. Er fing als Chemiker an, bevorzugte damals schon die Fälle, welche auffallende physikalische Verhältnisse zeigten; später wurde er ganz Physiker. Daneben lief ein ausserordentlich ausgedehntes Studium der Technologie, wie es für sich allein schon ein Menschenleben auszufüllen im Stande wäre.

Er ist geschieden nach einem reichen Leben und einer reichen Thätigkeit. Das alte Gesetz, dass keines Menschen Leben frei von Schmerz sei, wird wohl auch ihn getroffen haben; und doch erscheint sein Leben als ein bevorzugt glückliches. Was die Menschen gewöhnlich am meisten beneiden, war ihm zugefallen; aber er wusste die äusseren Güter zu adeln, indem er sie in den Dienst eines uneigennützigen Zweckes stellte. Was dem Gemüthe eines edlen Menschen am theuersten ist, in der Mitte einer liebenswürdigen Familie, in einem Kreise treuer und bedeutender Freunde sich zu erwärmen, war ihm vergönnt. Als das seltenste Glück aber möchte ich es preisen, dass er in reiner Begeisterung für ein ideales Princip arbeiten durfte und dass er die Sache, der er diente, siegreich wachsen und sich entfalten sah zu ungeahntem Reichthum und zu breithin wirkendem Segen.

Schliesslich müssen wir hinzufügen: soweit Besonnenheit, Reinheit der Absicht, sittlicher und intellectueller Takt, Bescheidenheit und echte Humanität die Launen des Glücks und der Menschen beherrschen können, soweit war Magnus selbst der Schmied seines Glücks; eine jener seltenen befriedigenden und in sich befriedigten Naturen, denen die Liebe und die

Gunst der Menschen entgegenkommen, die mit sicherer Ahnung die rechte Stelle für ihre Thätigkeit zu finden wissen, und von denen man sagen möchte: der Neid des Schicksals verkümmert ihnen ihre Erfolge nicht, weil sie, für reine Zwecke und mit reinen Wünschen arbeitend, auch ohne äussere Erfolge ihre Befriedigung finden würden.

Ueber die Entstehung des Planetensystems

Vortrag
gehalten zu Heidelberg und Köln a. Rh.
1871

Hochgeehrte Versammlung!

Ich habe die Absicht, heute vor Ihnen die vielbesprochene Kant-Laplace'sche Hypothese über die Bildung der Weltkörper, namentlich unseres Planetensystemes, aus einander zu setzen. Die Wahl dieses Themas bedarf wohl einer Rechtfertigung. In populären Vorlesungen, wie die heutige eine ist, haben die Zuhörer das Recht, von dem Vortragenden zu erwarten, dass er ihnen wohlgesicherte Thatsachen und fertige Ergebnisse der Forschung vorlege, nicht aber unreife Vermuthungen, Hypothesen oder Träume. Unter allen Gegenständen, denen menschliches Nachdenken und menschliche Phantasie sich zuwenden können, ist die Frage über den Ursprung der Welt vorzugsweise und am meisten seit urältester Zeit bei allen Nationen der Tummelplatz ausschweifendster Speculationen gewesen. Wohlthätige und zerstörende Götter, Giganten, Kronos, der seine Kinder frisst, Niflheim mit dem Eisriesen Ymer, den die himmlischen Asen tödten, um die Welt aus ihm zu bauen, sind Gestalten, wie sie die kosmogonischen Systeme der verhältnissmässig besonneneren Volksstämme bevölkern. In der Allgemeinheit der Thatsache, dass jedes Volk sich seine kosmogonischen Ansichten ausgebildet und diese theilweise sehr in das Einzelne ausgemalt hat, spricht sich unverkennbar das von allen gefühlte Interesse aus zu wissen, woher ist unser Ursprung, woher der letzte Ursprung der Dinge, die uns umgeben? Und mit der Frage nach dem Anfange ist wiederum eng die nach dem Ende verknüpft; denn was entstehen konnte, kann auch vergehen. Diese Frage nach dem Ende hat vielleicht noch grösseres praktisches Interesse als die nach dem Anfange.

Nun muss ich gleich von vornherein bemerken, dass auch die Theorie, die ich heute zu besprechen beabsichtige, zuerst

aufgestellt wurde von einem Manne, dessen Name vorzugsweise als der des abstractesten philosophischen Denkers bekannt geworden ist, von dem Urheber des transscendentalen Idealismus und des kategorischen Imperativs, von Immanuel Kant. Die Schrift, in der er sie vortrug, die „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels“ (1755) ist eine seiner ersten Veröffentlichungen; sie rührt aus seinem 31. Lebensjahre her. Ueberblickt man die Schriften aus dieser ersten, etwa bis zum vierzigsten Jahre dauernden Periode seiner wissenschaftlichen Thätigkeit, so findet man, dass dieselben grösstentheils naturwissenschaftlichen Inhalts sind und dass sie mit einer Anzahl der glücklichsten Gedanken ihrer Zeit weit vorauseilen. Die eigentlich philosophischen Arbeiten sind dagegen noch gering an Zahl, sie sind zum Theil, wie die Habilitationsschrift, direct durch äussere Veranlassung hervorgerufen, dabei verhältnissmässig unselbständig in ihrem positiven Inhalt, und nur bedeutend durch spottende, ja vernichtende Kritik. Man kann nicht verkennen, dass der jugendliche Kant, seiner Neigung und seiner Anlage nach, vorzugsweise Naturforscher war und dass er vielleicht nur durch die Macht der äusseren Verhältnisse, durch den Mangel der für selbständige naturwissenschaftliche Arbeit nöthigen Hülfsmittel und durch die Sinnesweise seiner Zeit an der Philosophie festgehalten wurde; hier gelangte er viel später zu selbständigen und bedeutenden Leistungen; denn die Kritik der reinen Vernunft fällt erst in sein 57. Jahr. Er hat übrigens auch in späteren Perioden seines Lebens zwischen seinen grossen philosophischen Werken einzelne naturwissenschaftliche Aufsätze geschrieben und hat regelmässig eine Vorlesung über physische Geographie gehalten. Er blieb zwar auf das enge Maass von Kenntnissen und Hülfsmitteln seiner Zeit und seines abgelegenen Wohnortes beschränkt, strebte aber doch mit grossem und verständigem Sinne nach ähnlich umfassenden Gesichtspunkten, wie später Alexander von Humboldt. Es ist geradezu eine Verkehrung des historischen Zusammenhanges, wenn Kant's Namen zuweilen gemissbraucht wird um zu empfehlen, dass die Naturwissenschaft die inductive Methode, durch welche sie gross geworden ist, wieder verlassen müsse, um zu den luftigen Speculationen einer angeblich „deductiven Methode“ zurückzukehren. Gegen solchen Missbrauch würde sich Niemand schärfer und schneidiger gewendet haben als Kant selbst.

Ganz unabhängig von Kant, wie es scheint, ist dieselbe

Hypothese über die Bildung unseres Planetensystems ein zweites Mal von Pierre Simon Marquis de Laplace, dem berühmtesten der französischen Astronomen, gleichsam als das Schlussresultat seiner mit riesigem Fleisse und grossem mathematischen Scharfsinne durchgeführten vollständigen Bearbeitung der Mechanik unseres Systems aufgestellt worden. Sie sehen schon aus den Namen dieser beiden Männer, die wir als wohlerfahrene und wohlerprobte Führer auf unserem Wege treffen, dass wir es, bei einer von ihnen übereinstimmend aufgestellten Ansicht, nicht mit einer leichtfertigen Reise in das Blaue zu thun haben, sondern mit einem vorsichtigen und wohl überlegten Versuche, aus den bekannten Verhältnissen der Gegenwart Rückschlüsse auf die unbekannte Vergangenheit zu ziehen.

Es liegt nun in der Natur der Sache, dass eine von Dingen der fernsten Vergangenheit redende Hypothese über den Ursprung des Theiles der Welt, den wir selbst bewohnen, nicht durch directe Beobachtung verificirt werden kann, wohl aber kann sie mittelbare Bestätigungen erfahren, wenn sich beim Fortschritte der wissenschaftlichen Kenntnisse neue Thatsachen den früher bekannten anreihen und wie jene ihre Erklärung aus ihr empfangen; namentlich wenn Reste der für die Bildung der Weltkörper angenommenen Vorgänge sich noch in der Gegenwart nachweisen lassen. Dergleichen mittelbare Bestätigungen mannigfachster Art haben sich in der That für die hier zu besprechende Ansicht gefunden, und haben das Gewicht ihrer Wahrscheinlichkeit ganz erheblich gesteigert.

Theils dieser Umstand, theils der andere, dass die genannte Hypothese in neuerer Zeit sowohl in populären als in wissenschaftlichen Büchern vielfältig in Verbindung mit philosophischen, ethischen, theologischen Fragen erwähnt worden ist, geben mir den Muth, hier davon zu reden. Ich beabsichtige dabei nicht sowohl Ihnen dem Inhalte nach wesentlich Neues zu berichten, als vielmehr Ihnen eine möglichst zusammenhängende Uebersicht der Gründe zu geben, die zu der Hypothese geführt und sie befestigt haben.

Diese Entschuldigungen, welche ich vorausschicken musste, beziehen sich nur darauf, dass ich ein Thema dieser Art in einer populären Vorlesung behandle. Die Wissenschaft ist vollständig berechtigt und auch verpflichtet, eine solche Untersuchung anzustellen. Für sie handelt es sich um eine ganz bestimmte und gewichtige Frage, die Frage nämlich nach der Existenz von

Grenzen für die Tragweite der Naturgesetze, welche den Verlauf alles gegenwärtig Geschehenden beherrschen. Können diese Gesetze in der Vorzeit von jeher gültig gewesen sein, werden sie es auch in der Zukunft immer sein können? Oder werden — bei Voraussetzung einer ewig gleichmässigen Gesetzmässigkeit der Natur — unsere Rückschlüsse aus den gegenwärtigen Zuständen auf die der Vergangenheit und Zukunft uns nothwendig zurückleiten auf unmögliche Zustände, auf die Nothwendigkeit einer Durchbrechung der Naturgesetze, auf einen Anfang, der nicht mehr durch die uns bekannten Vorgänge herbeigeführt sein könnte? Das Anstellen einer solchen Untersuchung über die mögliche oder wahrscheinliche Vorgeschichte der jetzt bestehenden Welt ist also von Seiten der Wissenschaft keine müssige Speculation, sondern eine Frage über die Grenzen ihrer Methoden und die Tragweite der zur Zeit gefundenen Gesetze.

Vielleicht mag es vermessen erscheinen, dass wir, die wir im Kreise unserer Beobachtungen begrenzt sind, räumlich durch unseren Standpunkt auf der kleinen Erde, die nur ein Stäubchen in unserem Milchstrassensystem ist, zeitlich durch die Dauer der kurzen Menschengeschichte, es unternehmen Gesetze, welche wir aus dem engen uns zugänglichen Bereiche von Thatsachen herausgelesen haben, geltend zu machen für die ganze Ausdehnung des unermesslichen Raumes und der Zeit von Ewigkeit zu Ewigkeit. Aber all unser Denken und Thun im Grössten wie im Kleinsten ist gegründet auf das Vertrauen zu der unabänderlichen Gesetzmässigkeit der Natur, und dieses Vertrauen hat sich bisher immer mehr gerechtfertigt, je tiefer wir in den Zusammenhang der Naturerscheinungen eindrangen. Und für die Gültigkeit der von uns gefundenen allgemeinen Gesetze, durch die weitesten Erstreckungen des Raumes hin, hat uns das letzte halbe Jahrhundert wichtige thatsächliche Bestätigungen gebracht.

Voran unter diesen steht das Gesetz der Schwere. Die Himmelskörper schweben und bewegen sich in dem unermesslichen Raume. Verglichen mit den zwischen ihnen liegenden, ungeheuren Entfernungen sind sie alle, auch die grössten unter ihnen, nur wie Stäubchen von Materie zu betrachten. Die uns nächsten Fixsterne erscheinen, selbst in den stärksten Vergrösserungen, ohne sichtbaren Durchmesser, und wir können sicher sein, dass auch unsere Sonne, von den nächsten Fixsternen aus gesehen, nur als ein untheilbarer lichter Punkt erscheint; denn die Massen jener Sterne haben sich in den Fällen, wo es

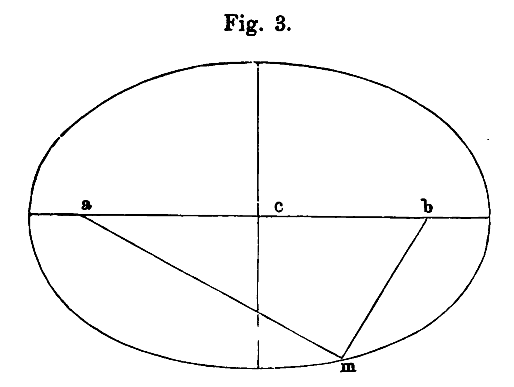
gelungen ist, sie zu bestimmen, als nicht sehr abweichend von der Masse der Sonne ergeben. Trotz dieser ungeheuren Entfernungen aber besteht zwischen ihnen ein unsichtbares Band, welches sie an einander fesselt und sie in gegenseitige Abhängigkeit bringt. Es ist dies die Gravitationskraft, mit der alle schweren Massen sich gegenseitig anziehen. Wir kennen diese Kraft aus unserer täglichen Erfahrung als Schwere, wenn sie zwischen einem irdischen Körper und der Masse unserer Erde wirksam wird. Die Kraft, welche einen Stein zu Boden fallen macht, ist keine andere als die, welche den Mond zwingt, die Erde in ihrer Bahn um die Sonne fortdauernd zu begleiten, und keine andere als die, welche die Erde selbst verhindert, in den weiten Raum hinaus zu fliehen und sich von der Sonne zu entfernen.

Sie können sich den Vorgang der Planetenbewegung an einem einfachen mechanischen Modell versinnlichen. Befestigen Sie möglichst hoch an einem Baumast oder an einem aus der Wand herausragenden festen Arme einen seidenen Faden, an dessen unteres Ende Sie, möglichst tief unten, einen kleinen schweren Körper, etwa eine Bleikugel, binden. Lassen Sie die Kugel ruhig hängen, so zieht sie den Faden vertical nach unten. Dies ist die Gleichgewichtslage der Kugel. Um dieselbe zu bezeichnen und dem Auge fortdauernd sichtbar zu machen, bringen Sie an diese Stelle, wo die Bleikugel im Gleichgewicht zu ruhen strebt, irgend einen feststehenden Körper, etwa einen Erdglobus auf Stativ. Die Bleikugel muss zu dem Ende bei Seite geschoben werden; aber sie legt sich nun dem Globus an, und wenn man sie von ihm fortzieht, so strebt sie wieder zu ihm hin, weil die Schwere sie gegen ihre im Innern des Globus befindliche Gleichgewichtslage hintreibt. 'Auf welcher Seite des Globus man die Kugel auch von ihm abziehen mag, immer geschieht dasselbe. Diese Kraft, welche die Bleikugel gegen den Globus treibt, vertritt in unserem Modell die Anziehung, welche die Erde gegen den Mond, oder die Sonne gegen die Planeten ausübt. Nachdem Sie sich von den beschriebenen Thatsachen überzeugt haben, versuchen Sie der Bleikugel, in einigem Abstande vom Globus, eine mässige Wurfbewegung nach der Seite zu geben. Haben Sie die Stärke des Wurfes richtig getroffen, so umschwebt die kleine Kugel in kreisförmiger Bahn die grosse und kann lange Zeit in dieser Bewegung beharren, gerade so, wie der Mond in seinem Umlaufe um die Erde, die Planeten in dem Umlauf um die Sonne

beharren. Nur werden allerdings in unserem Modell die Kreise, welche die Bleikugel zieht, mit der Zeit immer enger und enger, weil wir widerstehende Kräfte, Luftwiderstand, Steifigkeit des Fadens, Reibung, nicht in dem Maasse ausschliessen können, wie sie in dem Planetensysteme ausgeschlossen sind.

Bei genau kreisförmiger Bahn um den anziehenden Mittelpunkt wirkt die anziehende Kraft auf Planeten oder Bleikugel natürlich immer in gleicher Stärke. Dann ist es gleichgültig, nach welchem Gesetz die Kraft ab- oder zunehmen würde in anderen Abständen vom Centrum, in welche der bewegte Körper ja gar nicht kommt. Ist aber der ursprüngliche Stoss nicht von richtiger Stärke gewesen, so werden in beiden Fällen die Bahnen nicht kreisförmig, sondern elliptisch von der Form der in Fig. 3

Fig. 3.



gezeichneten krummen Linie. Aber diese Ellipsen liegen in beiden Fällen verschieden gegen das anziehende Centrum. In unserem Modell wird die anziehende Kraft desto stärker, je weiter wir die Bleikugel von ihrer Gleichgewichtslage entfernen. Die Ellipse der Bahn erhält unter diesen Umständen eine solche Lage gegen das anziehende Centrum, dass dieses in den Mittelpunkt *c* der Ellipse fällt. Für den Planeten wird im Gegentheil die anziehende Kraft desto schwächer, je weiter er sich von dem anziehenden Körper entfernt, und dies bewirkt, dass eine Ellipse beschrieben wird, deren einer Brennpunkt in das Anziehungscentrum fällt. Die beiden Brennpunkte *a* und *b* sind zwei symmetrisch gegen die Enden der Ellipse hin liegende Punkte, die durch die Eigenschaft ausgezeichnet sind, dass die Summe ihrer Abstände $am + bm$ für jeden beliebigen Punkt in der Ellipse die gleiche Grösse hat.

Dass die Planetenbahnen Ellipsen von solcher Art sind, hatte Kepler erkannt, und da, wie das eben angeführte Beispiel zeigt, Form und Lage der Bahn von dem Gesetze abhängt, nach welchem die Grösse der anziehenden Kraft sich ändert, so konnte Newton aus der Form der Planetenbahnen das bekannte Gesetz der Gravitationskraft, welche die Planeten zur Sonne zieht, ableiten, wonach diese Kraft bei wachsender Entfernung in dem Maasse abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung wächst. Die irdische Schwere musste diesem Gesetze sich einfügen, und Newton hatte die bewundernswerthe Entsagung, seine folgenschwere Entdeckung erst zu veröffentlichen, nachdem auch hierfür eine directe Bestätigung gelungen war, als sich nämlich aus den Beobachtungen nachweisen liess, dass die Kraft, welche den Mond gegen die Erde zieht, gerade in demjenigen Verhältniss zur Schwere eines irdischen Körpers steht, wie es das von ihm erkannte Gesetz forderte.

Im Laufe des 18. Jahrhunderts stiegen die Mittel der mathematischen Analyse und die Methoden der astronomischen Beobachtung so weit, dass alle die verwickelten Wechselwirkungen, welche zwischen allen Planeten und allen ihren Trabanten durch die gegenseitige Attraction jedes gegen jeden erzeugt werden, und welche die Astronomen als Störungen bezeichnen, — Störungen nämlich der einfachen elliptischen Bewegung um die Sonne, die jeder von ihnen machen würde, wenn die anderen nicht da wären —, dass alle diese Wechselwirkungen aus Newton's Gesetze theoretisch vorausbestimmt und mit den wirklichen Vorgängen am Himmel genau verglichen werden konnten. Die Ausbildung dieser Theorie der Planetenbewegungen bis in ihre kleinsten Einzelheiten war, wie schon erwähnt, hauptsächlich das Verdienst von Laplace. Die Uebereinstimmung zwischen der Theorie, die aus dem so einfachen Gesetze der Gravitationskraft entwickelt war, und den äusserst complicirten und mannigfaltigen Erscheinungen, die daraus folgten, war eine so vollständige und so genaue, wie sie bisher in keinem anderen Zweige menschlichen Wissens erreicht worden ist. Kühner geworden durch diese Uebereinstimmung schloss man bald, dass da, wo kleine Mängel derselben sich constant herausstellten, noch unbekannte Ursachen wirksam sein müssten. So wurde aus Abweichungen zwischen der wirklichen und der berechneten Bewegung des Uranus von Bessel die Vermuthung hergeleitet, dass ein weiterer Planet existire. Von Leverrier und Adams wurde der Ort dieses Planeten be-

rechnet, und so der Neptun, der entfernteste der bis jetzt bekannten Planeten, gefunden.

Aber nicht bloss im Bereiche der Attractionskraft unserer Sonne zeigte sich das Gravitationsgesetz als wirksam; am Fixsternhimmel erkannte man, dass auch Doppelsterne in elliptischen Bahnen um einander kreisen, dass auch zwischen ihnen dasselbe Gesetz der Gravitation wirksam sei, welches unser Planetensystem beherrscht. Von einzelnen derselben kennen wir die Entfernung. Der nächste von ihnen α im Sternbilde des Centauren ist 226000 mal weiter von der Sonne entfernt, als die Erde. Das Licht, welches die ungeheure Strecke von 40000 Meilen in der Secunde durchläuft und in acht Minuten von der Sonne zur Erde gelangt, braucht drei Jahre, um von α Centauri zu uns zu kommen. Die verfeinerten Messungsmethoden der neueren Astronomie haben es möglich gemacht, Entfernungen von Sternen zu bestimmen, zu deren Durchmessung das Licht 35 Jahre braucht, wie zum Beispiel die vom Polarstern: aber das Gravitationsgesetz zeigt sich, die Bewegungen von Doppelsternen beherrschend, auch noch in solchen Tiefen des Sternenhimmels, an deren Ausmessung die uns zu Gebote stehenden Messungsmethoden bisher gescheitert sind.

Auch hier hat die Kenntniss des Gravitationsgesetzes, wie im Falle des Neptun, schon zur Entdeckung neuer Körper geführt. Peters in Altona fand, in Bestätigung einer ebenfalls schon von Bessel ausgesprochenen Vermuthung, dass der Sirius, der glänzendste unserer Fixsterne, in elliptischer Bahn sich um ein unsichtbares Centrum bewege. Es musste ein dunkler Begleiter vorhanden sein; und in der That liess sich dieser nach Aufstellung des ausgezeichneten und mächtigen Fernrohres der Universität Cambridge in Massachusets durch das Auge entdecken. Dieser Begleiter ist nicht ganz dunkel, aber so lichtschwach, dass er nur durch die allervollkommensten Instrumente gesehen werden kann. Die Masse des Sirius ergiebt sich dabei gleich 13,76, die des Begleiters zu 6,71 Sonnenmassen, ihre gegenseitige Entfernung gleich 37 Erdbahnhalbmesser, also etwas grösser, als die Entfernung des Neptun von der Sonne.

Ein anderer Fixstern, der Procyon, ist im gleichen Falle, wie der Sirius, aber sein Begleiter ist noch nicht gesehen.

Sie sehen, dass wir in der Gravitation eine aller schweren Materie gemeinsame Eigenschaft entdeckt haben, die sich nicht auf die Körper unseres Systems beschränkt, sondern sich so weit

hinaus in die Himmelsräume zu erkennen giebt, als unsere Beobachtungsmittel bisher vordringen konnten.

Aber den entferntesten Himmelskörpern und den irdischen Körpern ist nicht allein diese allgemeine Eigenschaft aller Masse gemeinsam, sondern die Spectralanalyse hat uns gelehrt, dass eine grosse Anzahl wohlbekannter irdischer Elemente in den Atmosphären der Fixsterne und sogar der Nebelflecke wiederkehrt.

Sie wissen, dass eine feine helle Linie, durch ein Glasprisma betrachtet, als farbiger Streif, an einem Rande roth und gelb, am anderen blau und violett, in der Mitte grün erscheint. Man nennt ein solches farbiges Bild ein Farbenspectrum; der Regenbogen ist ein solches, durch Lichtbrechung, wenn auch nicht durch ein Prisma, erzeugtes Spectrum; und er zeigt daher die Reihe der Farben, welche durch eine solche Zerlegung aus dem weissen Sonnenlichte ausgeschieden werden können. Die Erzeugung des prismatischen Spectrum beruht darauf, dass das Licht der Sonne, wie das der meisten glühenden Körper, aus verschiedenen Arten von Licht zusammengesetzt ist, welche unserem Auge verschieden farbig erscheinen, und welche bei der Brechung der Strahlen im Prisma von einander getrennt werden.

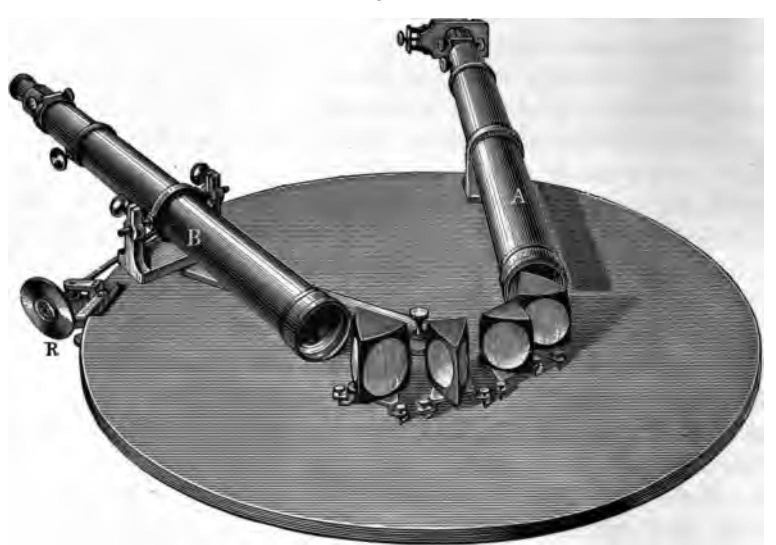
Macht man nun einen festen oder flüssigen Körper glühend heiss, so dass er leuchtet, so ist das Spectrum, welches sein Licht giebt, ähnlich dem Regenbogen, ein breiter farbiger Streifen ohne Unterbrechungen, mit der bekannten Farbenreihe Roth, Gelb, Grün, Blau, Violett und in keiner Weise charakteristisch für die Beschaffenheit des Körpers, der das Licht aussendet.

Anders verhält es sich, wenn ein glühendes Gas oder ein glühender Dampf, d. h. ein durch Wärme in gasförmigen Zustand gebrachter Stoff, das Licht aussendet. Dann besteht nämlich das Spectrum eines solchen Körpers aus einer oder einigen, oder auch sehr vielen, aber durchaus getrennten, hellen Linien, deren Ort und Gruppirung im Spectrum charakteristisch ist für die Substanzen, aus denen das Gas oder der Dampf besteht, so dass man durch die spectrale Analyse des Lichtes erkennen kann, welches die chemische Zusammensetzung des glühenden gasförmigen Körpers ist. Viele Nebelflecke im Weltenraume zeigen uns solche Gasspectra, und zwar Spectra, welche die hellen Linien glühenden Wasserstoffs und Stickstoffs zeigen und daneben meist noch eine Linie, die bisher in dem Spectrum keines irdischen Elementes wiedergefunden ist. Abgesehen von dem Nachweis zweier wohlbekannter

irdischer Elemente war diese Entdeckung auch deshalb von grösster Wichtigkeit, weil durch sie der erste unzweifelhafte Nachweis dafür erbracht wurde, dass die kosmischen Nebel meist nicht Haufen feiner Sterne sind, sondern dass der grösste Theil ihres Lichtes wirklich von gasigen Körpern ausgesendet wird.

In anderer Weise erscheinen die Gasspectra, wenn das Gas vor einem glühenden festen Körper liegt, dessen Temperatur viel höher ist, als die des Gases. Dann sieht der Beobachter das continuirliche Spectrum eines festen Körpers, dieses aber durchschnitten von feinen dunklen Linien, die gerade an den Orten sichtbar werden, wo das Gas allein, vor dunklem Hintergrunde


Fig. 4.



gesehen, helle Linien zeigen würde. Dass beide Erscheinungsweisen der Gasspectra sich nothwendig bedingen, hat Kirchhoff nachgewiesen. Man kann deshalb auch aus solchen dunklen Linien im Spectrum erkennen, welche Gase sich vor dem glühenden Körper befinden. Von dieser Art ist das Spectrum der Sonne und das einer grossen Anzahl von Fixsternen. Die dunklen Linien des Sonnenspectrums, von Wollaston entdeckt, sind von Fraunhofer zuerst genau untersucht und gemessen und deshalb unter dem Namen Fraunhofer'sche Linien bekannt geworden.

Später sind, und zwar zuerst von Kirchhoff, dann namentlich von Angström, viel mächtigere Apparate angewendet worden, um

die Zerlegung des Lichtes möglichst weit zu treiben. Fig. 4 stellt den von Steinheil für Kirchhoff construirten Apparat mit vier Prismen dar. Am abgewendeten Ende des Fernrohres *A* befindet sich ein Schirm mit einem feinen Spalt, der die feine Lichtlinie bildet, durch die dargestellte kleine Schraube verengert und

Fig. 5.

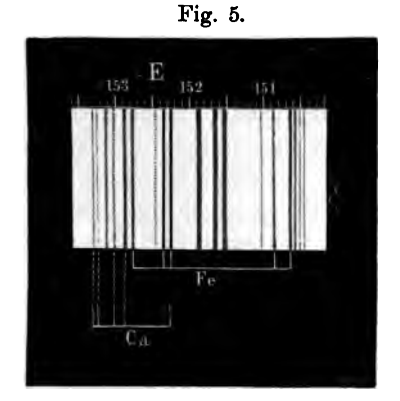
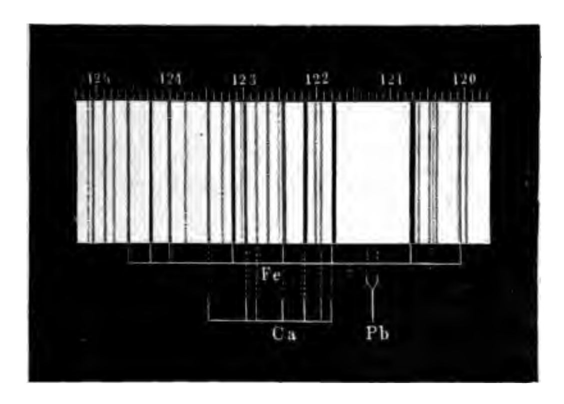


Fig. 6.



erweitert werden kann, und durch den man das zu untersuchende Licht eintreten lässt. Es passirt dann das Fernrohr *A*, nachher die vier Prismen, endlich das Fernrohr *B*, und gelangt so zum Auge des Beobachters. In Fig. 5, 6, 7 sind kleine Stücke von

Fig. 7.



Kirchhoff's Zeichnung des Sonnenspectrums nachgebildet, aus dem Grün, Gelb und Goldgelb, an denen unten durch die chemischen Zeichen Fe (Eisen), Ca (Metall des Kalks), Na (Metall des Natrons), Pb (Blei) und die zugesetzten Linien angezeigt ist, an welchen Stellen die glühenden Dämpfe dieser Metalle, sei es in

den Flammen, sei es im elektrischen Funken, helle Linien zeigen. Die darüber gesetzten Scalentheile lassen erkennen, wie weit diese Bruchstücke der über das ganze Sonnenspectrum ausgedehnten Kirchhoff'schen Zeichnung aus einander liegen. Schon hier bemerkt man überwiegend viele Eisenlinien. Im ganzen Spectrum fand Kirchhoff nicht weniger als 450.

Daraus folgt, dass die Atmosphäre der Sonne reichliche Dämpfe von Eisen enthält, was unter anderem einen Schluss ziehen lässt auf die über alle Maassen hohe Temperatur, welche dort herrschen muss. Ausserdem verräth sich in gleicher Weise, wie unsere Figuren 5, 6, 7 Eisen, Calcium, Natrium anzeigen, auch die Anwesenheit des Wasserstoffs, des Zinks, des Kupfers, der Metalle aus dem Magnesia, der Thonerde, der Baryterde und anderer irdischer Elemente. Dagegen fehlen Blei (s. Fig. 7 Pb), Gold, Silber, Quecksilber, Zinn, Spiessglanz, Arsen und andere.

Die Spectra vieler Fixsterne sind ähnlich beschaffen, sie zeigen Systeme feiner Linien, die sich mit denen irdischer Elemente identificiren lassen. In der Atmosphäre des Aldebaran im Stier zeigt sich wiederum Wasserstoff, Eisen, Magnesia, Kalk, Natron, aber auch Quecksilber, Antimon, Wismuth, im α Orionis (Beteigeuze) nach H. C Vogel das auf Erden seltene Thallium u. s. w.

Noch können wir nicht sagen, dass wir alle Sternspectra gedeutet hätten; viele Fixsterne zeigen eigenthümlich gebänderte Spectra, die wahrscheinlich Gasen angehören, deren Molekeln durch die hohe Temperatur nicht vollständig in ihre elementaren Atome aufgelöst sind. Auch im Spectrum der Sonne finden sich viele Linien, die wir mit solchen irdischer Elemente noch nicht identificiren konnten. Möglich, dass sie von uns unbekannten Stoffen herrühren, möglich auch, dass sie durch die höhere, unseren irdischen Hülfsmitteln weit überlegene Temperatur der Sonne bedingt sind. Aber so viel steht fest, dass bekannte irdische Elemente durch den Weltraum weit verbreitet sind, vor allen der Stickstoff, der den grösseren Theil unserer Atmosphäre ausmacht, ferner der Wasserstoff, der Grundstoff des Wassers, welches durch Verbrennung aus ihm entsteht. Beide fanden sich in den eigentlichen unauflösbaren Nebelflecken, und diese müssen, wie aus der Unveränderlichkeit ihrer Gestalt zu schliessen ist, Gebilde von ungeheuren Dimensionen und ungeheurer Entfernung sein. Schon W. Herschel betrachtete sie aus diesem Grunde als unserem Fixsternsysteme nicht ange-

hörig, sondern als die Erscheinungsweise anderer Milchstrassensysteme.

Und Weiteres haben wir durch die Spectralanalyse über unsere Sonne erfahren, wodurch sie den uns bekannten Verhältnissen einigermaassen näher tritt, als es früher scheinen mochte. Sie wissen, dass die Sonne ein ungeheurer Ball, im Durchmesser 112 mal grösser als die Erde ist. Was wir als ihre Oberfläche erblicken, dürfen wir als eine Schicht glühenden Nebels betrachten, welche, nach den Erscheinungen der Sonnenflecke zu schliessen, eine Tiefe von annähernd 100 Meilen hat. Diese Nebelschicht, die nach aussen hin fortdauernd Wärme verliert, also jedenfalls kühler ist als die inneren Massen der Sonne, ist dennoch heisser als alle unsere irdischen Flammen, heisser selbst als die glühenden Kohlenspitzen der elektrischen Lampe, welche das Maximum der durch irdische Hülfsmittel zu erreichenden Temperatur geben. Dies kann mit Sicherheit nach dem von Kirchhoff erwiesenen Gesetze für die Strahlung undurchsichtiger Körper aus der überlegenen Lichtintensität der Sonne geschlossen werden. Die ältere Annahme, wonach die Sonne ein dunkler kühler Körper, umgeben von einer nur nach aussen Wärme und Licht strahlenden Photosphäre sein sollte, enthält eine physikalische Unmöglichkeit.

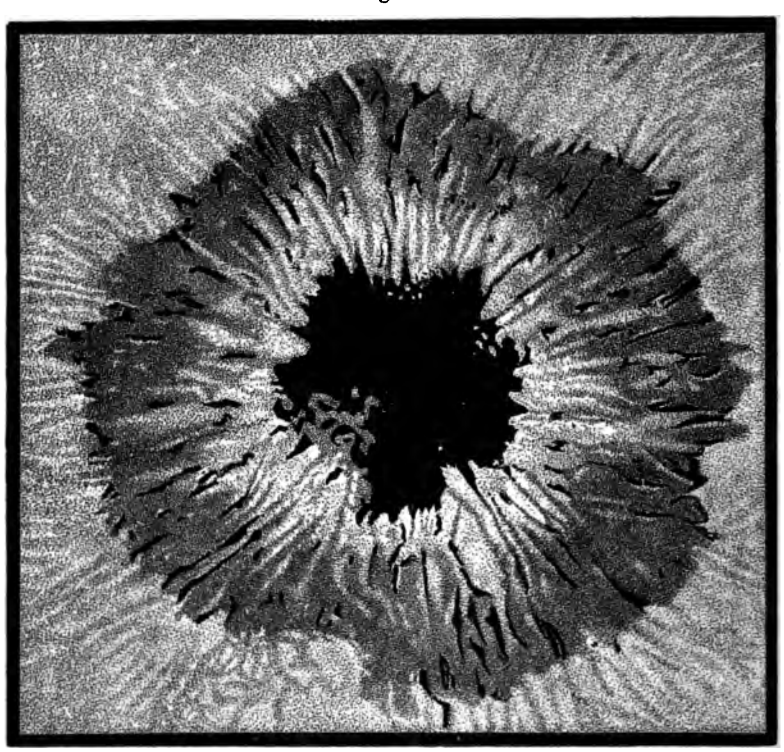
Ausserhalb der undurchsichtigen Photosphäre erscheint rings um den Sonnenkörper eine Schicht durchsichtiger Gase, welche heiss genug sind, um im Spectrum helle farbige Linien zu zeigen, und deshalb als Chromosphäre bezeichnet werden. Sie zeigen die hellen Linien des Wasserstoffs, des Natrium, Magnesium, Eisen. In diesen Gas- und Nebelschichten der Sonne finden ungeheure Stürme statt, an Ausdehnung und Geschwindigkeit denen unserer Erde in ähnlichem Maasse überlegen, wie die Grösse der Sonne der der Erde. Ströme glühenden Wasserstoffs werden in Form von riesigen Springbrunnen oder von züngelnden Flammen, mit darüber schwebenden Rauchwolken, viele tausend Meilen hoch emporgeblasen [1]. Früher konnte man diese Gebilde nur zur Zeit der totalen Sonnenfinsternisse als die sogenannten rosigen Protuberanzen der Sonne sehen. Jetzt ist durch die Herren Jansen und Lockyer eine Methode gefunden

[1]) Bis zu 15000 geogr. Meilen nach Herrn H. C. Vogel's Beobachtungen in Bothkamp. Die spectroskopische Verschiebung der Linie zeigte Geschwindigkeiten bis zu vier oder fünf Meilen in der Secunde, nach Lockyer sogar bis zu acht und neun Meilen.

worden, um sie mit Hülfe des Spectroskopes alltäglich zu beobachten.

Ferner findet man in der Regel auch einzelne dunklere Stellen, die sogenannten Sonnenflecken, auf der Oberfläche der Sonne, die schon von Galilei gesehen worden sind. Sie sind trichterförmig vertieft; die Wände des Trichters sind weniger dunkel als die tiefste Stelle, der Kern. Fig. 8 zeigt eine Abbildung eines solchen Fleckes nach Padre Secchi, wie er bei sehr

Fig. 8.

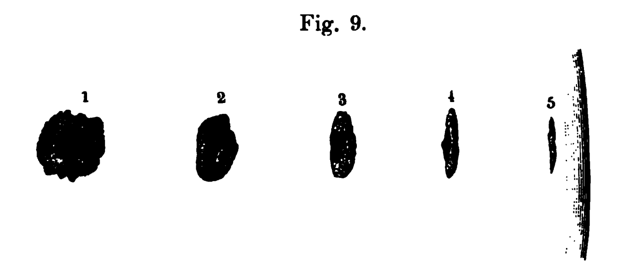


starker Vergrösserung erscheint. Ihr Durchmesser beträgt oft viele tausend Meilen, so dass zwei oder drei Erden darin neben einander liegen könnten. Diese Flecken können Wochen und Monate lang unter langsamer Veränderung bestehen, ehe sie sich wieder auflösen, und können bis dahin mehrere Rotationen des Sonnenkörpers mitmachen. Zuweilen treten aber auch sehr schnelle Revolutionen in ihnen auf. Dass der Kern derselben tiefer liegt als der Rand des umgebenden Halbschattens, geht

aus der gegenseitigen Verschiebung beider hervor, wenn sie sich dem Sonnenrande nähern und deshalb in sehr schräger Richtung gesehen werden. Figur 9 stellt in 1 bis 5 das verschiedene Ansehen eines solchen Fleckes dar, der sich dem Sonnenrande nähert.

Gerade an dem Rande dieser Flecke findet man die spectroskopischen Zeichen heftigster Bewegung und in ihrer Nähe oft grosse Protuberanzen; verhältnissmässig oft zeigen sie wirbelnde Bewegung und eine darauf hindeutende Zeichnung. Man kann sie für Stellen halten, wo die kühler gewordenen Gase aus den äusseren Schichten der Sonnenatmosphäre herabsinken und vielleicht auch locale oberflächliche Abkühlungen der Sonnenmasse selbst hervorbringen. Zur Erklärung dieser Erscheinungen muss man bedenken, dass die von dem heissen Sonnenkörper neu aufsteigenden Gase mit Dämpfen schwer flüchtiger Metalle überladen sind, dass sie beim Aufsteigen aber sich ausdehnen und theils durch die Dehnung, theils durch die Strahlung gegen den Weltraum gekühlt werden müssen. Dabei werden sie ihre schwer-

Fig. 9.



flüchtigeren Bestandtheile als Nebel oder Wolken ausscheiden. Diese Kühlung muss natürlich immer nur als eine verhältnissmässige aufgefasst werden; ihre Temperatur bleibt wahrscheinlich immer noch höher als alle irdisch erreichbaren Temperaturen. Wenn nun die obersten von schwereren Dämpfen befreiten und am meisten gekühlten Schichten niedersinken, werden sie nebelfrei bis zum Sonnenkörper bleiben können. Als Vertiefungen erscheinen sie, weil rings umher die bis zu 100 Meilen hohen Schichten glühenden Nebels liegen.

Heftige Bewegungen können in der Sonnenatmosphäre nicht fehlen, weil dieselbe von aussen gekühlt wird, und die kühlsten und deshalb verhältnissmässig dichtesten und schwersten Theile derselben über die heisseren und leichteren zu liegen kommen. Aus dem gleichen Grunde haben wir fortdauernde und zum Theil

plötzliche und gewaltsame Bewegungen auch in der Erdatmosphäre, weil auch diese von dem sonnigen Boden her erwärmt, von oben her gekühlt wird. Nur sind bei der viel colossaleren Grösse und Temperatur der Sonne auch ihre meteorologischen Prozesse viel grösser und gewaltsamer.

Wir wollen jetzt übergehen zu der Frage nach der Beständigkeit des jetzigen Zustandes unseres Systems. Lange Zeit hindurch wurde ziemlich allgemein die Ansicht vorgetragen, dasselbe sei, in seinen wesentlichen Eigenthümlichkeiten wenigstens, absolut unveränderlich. Es gründete sich diese Meinung hauptsächlich auf die Aussprüche, welche Laplace als Endergebnisse seiner langen und mühsamen Untersuchungen über den Einfluss der planetarischen Störungen hingestellt hatte. Unter Störungen der Planetenbewegungen verstehen die Astronomen, wie ich schon erwähnt habe, diejenigen Abweichungen von der reinen elliptischen Bewegung, welche bedingt sind durch die Anziehungen der verschiedenen Planeten und Trabanten auf einander. Die Anziehung der Sonne, als des bei Weitem grössten Körpers unseres Systems, ist allerdings die hauptsächlichste und überwiegende Kraft, welche die Bewegung der Planeten bestimmt. Wenn sie allein wirkte, würde jeder der Planeten fortdauernd in einer ganz constant bleibenden Ellipse, deren Axen unverändert gleiche Richtung und gleiche Grösse behielten, in unveränderlichen Umlaufszeiten sich bewegen. In Wahrheit wirken aber auf jeden, neben der Anziehung von der Sonne aus, auch noch die Anziehungen aller anderen Planeten, die, obgleich sie klein sind, doch in längeren Zeiträumen langsame Veränderungen in der Ebene, der Richtung und Grösse der Axen seiner elliptischen Bahn hervorrufen. Man hatte die Frage aufgeworfen, ob diese Veränderungen der Bahnen so weit gehen könnten, dass zwei benachbarte Planeten zusammenstossen, oder einzelne wohl gar in die Sonne fallen könnten. Darauf konnte Laplace antworten, dass das nicht der Fall sein werde, dass alle durch diese Art von Störungen hervorgebrachten Veränderungen in den Planetenbahnen periodisch ab- und zunehmen und immer wieder zu einem mittleren Zustande zurückkehren müssen. Aber, was wohl zu merken ist, dieses Resultat von Laplace's Untersuchungen gilt nur für die Störungen, welche durch die gegenseitigen Anziehungen der Planeten unter einander hervorgebracht werden, und unter der Voraussetzung, dass keine Kräfte anderer Art auf ihre Bewegungen Einfluss haben.

Hier auf Erden können wir eine solche ewig dauernde Bewegung nicht herstellen, wie die der Planeten für unsere Beobachtungsmittel zu sein scheint, weil jeder Bewegung irdischer Körper sich fortdauernd widerstehende Kräfte entgegensetzen. Die bekanntesten derselben bezeichnen wir als Reibung, als Luftwiderstand, als unelastischen Stoss.

So kommt das Grundgesetz der Mechanik, wonach jede Bewegung eines Körpers, auf den keine Kraft einwirkt, ewig in gerader Linie mit unveränderter Geschwindigkeit fortgeht, niemals zur ungestörten Erscheinung. Auch wenn wir den Einfluss der Schwere beseitigen, bei einer Kugel zum Beispiel, die auf ebener Bahn fortrollt, sehen wir dieselbe zwar eine Strecke vorwärts gehen; desto weiter, je glatter die Bahn; aber wir hören gleichzeitig die rollende Kugel klappern, das heisst Schallerschütterungen an die umgebenden Körper abgeben; sie reibt sich auch an der glattesten Bahn, sie muss die umgebende Luft mit in Bewegung setzen und an diese einen Theil ihrer Bewegung abgeben. So geschieht es, dass ihre Geschwindigkeit immer geringer wird, bis sie endlich ganz aufhört. Ebenso bleibt auch das sorgfältigst gearbeitete Rad, welches auf feinen Spitzen läuft, einmal in Drehung gesetzt, zwar einige Zeit im Schwunge und dreht sich allenfalls eine Viertelstunde lang oder sogar noch länger, endlich aber hört es doch auf. Denn immer hat es etwas Reibung an den Zapfen und daneben noch den Widerstand der Luft zu überwinden, welcher Widerstand übrigens hauptsächlich durch die Reibung der verschiedenen vom Rade mitbewegten Lufttheilchen an einander hervorgebracht wird.

Könnten wir einen Körper in Drehung versetzen und ihn, ohne dass er auf einem anderen ruht, gegen das Fallen schützen, und könnten wir ihn in einen absolut leeren Raum versetzen, so würde er sich allerdings in alle Ewigkeit mit unverminderter Geschwindigkeit weiter bewegen können. In diesem Falle, der sich an irdischen Körpern nicht herstellen lässt, schienen nun die Planeten mit ihren Trabanten zu sein. Sie schienen sich in dem ganz leeren Weltraume zu bewegen ohne Berührung mit einem anderen Körper, gegen den sie reiben könnten, und somit schien ihre Bewegung eine niemals abnehmende sein zu können.

Aber die Berechtigung zu diesem Schlusse beruht auf der Frage: Ist der Weltraum wirklich ganz leer? Entsteht bei der Bewegung der Planeten nirgend Reibung?

Beide Fragen müssen wir jetzt nach den Fortschritten, welche

die Naturkenntniss seit Laplace gemacht hat, mit Nein beantworten.

Der Weltraum ist nicht ganz leer. Erstens ist in ihm dasjenige Medium continuirlich verbreitet, dessen Erschütterungen das Licht und die strahlende Wärme ausmachen, und welches die Physik als den Lichtäther bezeichnet. Zweitens sind grosse und kleine Bruchstücke schwerer Masse von der Grösse riesiger Steine bis zu der von Staub noch jetzt, wenigstens in den Theilen des Raumes, welche unsere Erde durchläuft, überall verbreitet.

Was zunächst den Lichtäther betrifft, so ist die Existenz desselben nicht zweifelhaft zu nennen. Dass das Licht und die strahlende Wärme eine sich wellenförmig ausbreitende Bewegung sei, ist genügend bewiesen. Damit eine solche Bewegung sich durch die Welträume ausbreiten könne, muss etwas da sein, was sich bewegt. Ja aus der Grösse der Wirkungen dieser Bewegung, oder aus dem, was die Mechanik die lebendige Kraft derselben nennt, können wir sogar gewisse Grenzen für die Dichtigkeit des Medium, welches sich bewegt, herleiten. Eine solche Rechnung ist von Sir William Thomson, dem berühmten englischen Physiker, für den Lichtäther durchgeführt worden und hat ergeben, dass seine Dichtigkeit möglicher Weise ausserordentlich viel kleiner als die der Luft in dem sogenannten Vacuum einer guten Luftpumpe sein mag; aber absolut gleich Null kann die Masse des Aethers nicht sein. Ein Volumen gleich dem der Erde kann nicht unter 2775 Pfund Lichtäther enthalten [1]).

Dem entsprechen die Erscheinungen im Weltraume. So wie ein schwerer Stein, durch die Luft geworfen, kaum einen Einfluss des Luftwiderstandes bemerken lässt, eine leichte Feder aber sehr merklich aufgehalten wird, so ist auch das den Weltraum füllende Medium viel zu dünn, als dass die schweren Planeten seit der Zeit, wo wir astronomische Beobachtungen ihres Laufes haben, irgend eine Verminderung ihrer Bewegung erkennen liessen. Anders ist es mit den kleineren Körpern unseres Systems. Namentlich hat Encke an dem nach ihm benannten kleinen Kometen festgestellt, dass derselbe sich in immer engeren Bahnen und in immer kürzeren Umlaufszeiten um die Sonne bewegt. Er führt also dieselbe Art von Bewegung aus, die Sie an dem erwähnten kreisförmig

---

[1]) Die Grundlagen würden dieser Rechnung allerdings entzogen werden, wenn sich die Maxwell'sche Hypothese bestätigen sollte, wonach das Licht auf elektrischen und magnetischen Oscillationen beruht.

umlaufenden Pendel beobachten können, welches, allmälig durch den Luftwiderstand in seiner Geschwindigkeit verzögert, seine Kreise immer enger und enger um sein Attractionscentrum beschreibt. Der Grund davon ist folgender: Die Kraft, welche der Anziehung der Sonne auf alle Planeten und Kometen Widerstand leistet und dieselben verhindert sich der Sonne mehr und mehr zu nähern, ist die sogenannte Centrifugalkraft, das heisst das Bestreben, die ihnen einwohnende Bewegung geradlinig längs der Tangente ihrer Bahn fortzusetzen. So wie sich die Kraft ihrer Bewegung vermindert, geben sie der Anziehung der Sonne um ein Entsprechendes nach, und nähern sich dieser. Dauert der Widerstand fort, so werden sie fortfahren sich der Sonne zu nähern, bis sie in diese hineinstürzen. Auf diesem Wege befindet sich offenbar der Encke'sche Komet. Aber der Widerstand, dessen Vorhandensein im Weltraume hierdurch angezeigt wird, muss in demselben Sinne, wenn auch erheblich langsamer, auf die viel grösseren Körper der Planeten wirken und längst schon gewirkt haben.

Sehr viel deutlicher als durch den Reibungswiderstand verräth sich aber die Anwesenheit theils fein, theils grob vertheilter schwerer Masse im Weltraum durch die Erscheinungen der Sternschnuppen und der Meteorsteine. Wie wir jetzt bestimmt wissen, sind dies Körper, die im Weltraum herumschwärmten, ehe sie in den Bereich unserer irdischen Atmosphäre geriethen. In dem stärker widerstehenden Mittel, was diese darbietet, wurden sie demnächst in ihrer Bewegung verzögert und gleichzeitig durch die damit verbundene Reibung erhitzt. Viele von ihnen mögen den Ausweg aus der irdischen Atmosphäre wiederfinden und mit veränderter und verzögerter Bewegung ihren Weg durch den Weltraum fortsetzen. Andere stürzen zur Erde, die grösseren als Meteorsteine; die kleineren werden durch die Hitze wahrscheinlich zu Staub zersprengt und mögen als solcher unsichtbar herabfallen. Nach Alexander Herschel's Schätzungen dürfen wir uns die Sternschnuppen im Durchschnitt von der Grösse der Chausseesteine denken. Ihr Aufglühen geschieht meist schon in den höchsten und dünnsten Theilen der Atmosphäre, vier und mehr Meilen über der Erdoberfläche. Da sie sich im Weltraume gerade nach denselben Gesetzen wie Planeten und Kometen bewegt haben, so haben sie auch planetarische Geschwindigkeit von vier bis neun Meilen in der Secunde. Auch daran erkennen wir, dass sie in der That *stelle cadenti*, fallende Sterne, sind, wie sie von den Dichtern längst genannt wurden.

Diese ihre ungeheure Geschwindigkeit, womit sie in unsere Atmosphäre eindringen, ist auch zweifelsohne der Grund ihrer Erhitzung. Wir wissen alle, dass Reibung die geriebenen Körper erwärmt. Jedes Streichhölzchen, welches wir anzünden, jedes schlecht geschmierte Wagenrad, jeder Bohrer, den wir in hartes Holz treiben, lehrt dies. Die Luft erhitzt sich wie feste Körper durch Reibung, aber auch durch die zu ihrer Compression verbrauchte Arbeit. Eines der bedeutendsten Ergebnisse der neueren Physik, dessen thatsächlichen Nachweis wir vorzugsweise dem Engländer Joule[1]) verdanken, ist es, dass die in einem solchen Falle entwickelte Wärmemenge genau proportional ist der zu dem Zwecke aufgewendeten mechanischen Arbeit. Messen wir, mit den Maschinentechnikern, die Arbeit durch das Gewicht, welches nöthig wäre um sie hervorzubringen, multiplicirt mit der Höhe, von der es herabsinken müsste, so hat Joule gezeigt, dass die Arbeit, welche dadurch erzeugt werden kann, dass ein gewisses Gewicht Wasser von 425 Meter Höhe herabfliesst, gerade zureicht dasselbe Gewicht Wasser durch Reibung um einen Centesimalgrad zu erwärmen. Welches Arbeitsäquivalent eine Geschwindigkeit von vier bis sechs Meilen in der Secunde hat, lässt sich nach bekannten mechanischen Gesetzen leicht berechnen, und diese in Wärme verwandelt, würde hinreichen, ein Stück Meteoreisen bis zu 900000 und 2500000° C. zu erhitzen, vorausgesetzt, dass sie ganz dem Eisen verbliebe, und nicht, wie es sicher der Fall ist, zum grossen Theile an die Luft überginge. Wenigstens zeigt diese Rechnung, dass die den Sternschnuppen einwohnende Geschwindigkeit vollkommen hinreichend ist, um sie in das allerheftigste Glühen zu versetzen. Die Temperaturen, welche wir durch unsere irdischen Mittel erreichen, steigen kaum über 2000 Grad. In der That lässt die äussere Rinde der gefallenen Meteorsteine meistens die Spuren beginnender Schmelzung erkennen; und wo Beobachter schnell genug den gefallenen Stein untersuchten, fanden sie ihn oberflächlich heiss, während das Innere, an losgetrennten Bruchstücken, zuweilen noch die intensive Kälte des Weltraumes zu zeigen scheint.

Dem Beobachter, der nur gelegentlich nach dem gestirnten Himmel blickt, erscheinen die Sternschnuppen als ein sparsam und ausnahmsweise vorkommendes Phänomen. Wenn man aber anhaltend beobachtet, sieht man sie ziemlich regelmässig, nament-

---

[1]) Siehe Band I, S. 176.

lich gegen Morgen, fallen. Der einzelne Beobachter übersieht nur einen kleinen Theil der Atmosphäre; berechnet man die Sternschnuppen aber für die ganze Erdoberfläche, so ergiebt sich, dass täglich etwa $7^1/_2$ Millionen fallen! An und für sich sind sie in unseren Gegenden des Weltraumes ziemlich weit entfernt von einander. Man kann nach A. Herschel's Schätzungen rechnen, dass jedes Steinchen im Durchschnitt hundert Meilen von seinen Nachbarn entfernt ist. Aber die Erde bewegt sich in jeder Secunde vier Meilen vorwärts und hat 1700 Meilen Durchmesser, fegt also in jeder Secunde neun Millionen Cubikmeilen des Weltraumes ab und nimmt mit, was ihr von Steinchen darin begegnet.

Viele Sternschnuppen sind regellos im Weltraum vertheilt; es sind dies wahrscheinlich solche, die schon Störungen durch die Planeten erlitten haben. Daneben giebt es aber auch dichtere Schwärme, die in regelmässig elliptischen Bahnen einherziehen, den Weg der Erde an bestimmten Stellen schneiden und deshalb an besonderen Jahrestagen immer wieder auftauchen. So ist jedes Jahr der 10. August ausgezeichnet, und alle 33 Jahre, für einige Jahre sich wiederholend, das prachtvolle Feuerwerk des 12. bis 14. November. Merkwürdig ist, dass auf den Bahnen dieser Schwärme gewisse Kometen laufen; und daher entsteht die Vermuthung, dass die Kometen sich allmälig in Meteorschwärme zersplittern.

Dies ist ein bedeutsamer Prozess. Was die Erde thut, thun unzweifelhaft auch die anderen Planeten und in noch viel höherem Maasse die Sonne, der alle die kleineren und dem Einflusse des widerstehenden Mittels mehr unterworfenen Körper unseres Systemes desto schneller zusinken müssen, je kleiner sie sind. Die Erde und die Planeten fegen seit Millionen von Jahren die lose Masse des Weltraumes zusammen, und halten fest, was sie einmal an sich gezogen haben. Daraus folgt aber, dass Erde und Planeten einst kleiner waren, und dass mehr Masse im Weltraum verstreut war als jetzt, und wenn wir diese Betrachtung zu Ende denken, so führt sie uns auf einen Zustand, wobei vielleicht alle Masse, die jetzt in der Sonne und den Planeten angehäuft ist, in loser Zerstreuung durch den Weltraum schwärmt. Denken wir daran, dass die kleinen Massen der Meteoriten, wie sie jetzt fallen, auch vielleicht durch allmälige Aneignung feineren Staubes gewachsen sein mögen, dann werden wir uns auf einen Urzustand feiner nebelartiger Massenvertheilung hingewiesen sehen.

Unter dem Gesichtspunkte, dass der Fall der Sternschnuppen und Meteorsteine vielleicht ein kleiner Rest eines Prozesses ist, der einst unsere Welten gebildet hat, gewinnt dieser Vorgang eine sehr erhöhte Bedeutung.

Dies wäre nun eine Vermuthung, die nur ihre Möglichkeit für sich hätte, viel Wahrscheinlichkeit aber nicht für sich in Anspruch nehmen könnte, wenn wir nicht fänden, dass schon längst, von ganz anderen Betrachtungen ausgehend, unsere Vorgänger zu ganz derselben Hypothese gekommen sind.

Sie wissen, dass eine beträchtliche Anzahl von Planeten um die Sonne kreisen. Ausser den acht grösseren, Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun, laufen in dem Zwischenraume zwischen Mars und Jupiter, soweit bis jetzt bekannt, 156 kleine Planeten oder Planetoiden. Um die grösseren Planeten, nämlich die Erde und die vier entferntesten, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun, laufen auch Monde, und endlich drehen sich die Sonne und wenigstens die grösseren Planeten um ihre eigene Axe. Zunächst ist nun auffallend, dass alle Bahnebenen der Planeten und ihrer Trabanten, sowie die Aequatorialebenen der Planeten nicht sehr weit von einander abweichen, und dass in diesen Ebenen alle Rotationen in demselben Sinne geschehen. Die einzige erhebliche Ausnahme, die man kennt, sind die Monde des Uranus, deren Bahnebene nahehin rechtwinklig gegen die Bahnebenen der grösseren Planeten ist. Dabei ist hervorzuheben, dass die Uebereinstimmung in der Richtung dieser Ebenen im Allgemeinen um so grösser ist, je grösser die Körper und je länger die Bahnen sind, um die es sich handelt, während an den kleineren Körpern und für die kleineren Bahnen, namentlich auch für die Drehungen der Planeten um ihre eigenen Axen, erheblichere Abweichungen vorkommen. So haben die Bahnebenen aller Planeten, mit Ausnahme des Merkur und der kleinen zwischen Mars und Jupiter, höchstens 3° Abweichung (Venus) von der Erdbahn. Auch die Aequatorialebene der Sonne weicht nur um $7\frac{1}{2}°$ ab, die des Jupiter nur halb so viel. Die Aequatorialebene der Erde weicht freilich um $23\frac{1}{2}°$ ab, die des Mars um $28\frac{1}{2}°$, mehr noch einzelne Bahnen der kleinen Planeten und Trabanten. Aber in diesen Bahnen bewegen sie sich alle rechtläufig, alle in demselben Sinne um die Sonne, und soweit man erkennen kann, auch um ihre eigene Axe, wie die Erde, nämlich von Westen nach Osten. Wären sie nun unabhängig von einander entstanden und zusammengekommen, so wäre eine jede Richtung der Bahnebenen

für jeden einzelnen von ihnen gleich wahrscheinlich gewesen, rückläufige Richtung des Umlaufes ebenso wahrscheinlich, als rechtläufige; stark elliptische Bahnen ebenso wahrscheinlich, als die nahezu kreisförmigen, welche wir bei allen den genannten Körpern finden. In der That herrscht bei den Kometen und Meteorschwärmen vollkommene Regellosigkeit, und wir haben mancherlei Gründe, sie nur als zufällig in den Anziehungskreis unserer Sonne gerathene Gebilde anzusehen.

Die Zahl der übereinstimmenden Fälle bei den Planeten und ihren Trabanten ist zu gross, als dass man sie für Zufall halten könnte. Man muss nach einer Ursache dieser Uebereinstimmung fragen und diese kann nur in einem ursprünglichen Zusammenhange der ganzen Masse gesucht werden. Nun kennen wir wohl Kräfte und Vorgänge, die eine anfänglich zerstreute Masse sammeln, aber keine, welche grosse Körper, wie die Planeten, so weit in den Raum hinaustreiben konnte, wie wir sie jetzt finden. Ausserdem müssen sie stark elliptische Bahn haben, wenn sie sich an einem der Sonne viel näheren Orte von der gemeinsamen Masse gelöst hätten. Wir müssen also annehmen, dass diese Masse in ihrem Anfangszustande mindestens bis an die Bahn des äussersten Planeten hinausgereicht hat.

Dies waren im Wesentlichen die Betrachtungen, welche Kant und Laplace zu ihrer Hypothese führten. Unser System war nach ihrer Ansicht ursprünglich ein chaotischer Nebelball, in welchem anfangs, als er noch bis zur Bahn der äussersten Planeten reichte, viele Billionen Cubikmeilen kaum ein Gramm Masse enthalten konnten. Dieser Ball besass, als er sich von den Nebelballen der benachbarten Fixsterne getrennt hatte, eine langsame Rotationsbewegung. Er verdichtete sich unter dem Einflusse der gegenseitigen Anziehung seiner Theile und in dem Maasse, wie er sich verdichtete, musste die Rotationsbewegung zunehmen und ihn zu einer flachen Scheibe auseinander treiben. Von Zeit zu Zeit trennten sich die Massen am Umfange dieser Scheibe unter dem Einflusse der zunehmenden Centrifugalkraft, und was sich trennte, ballte sich wiederum in einen rotirenden Nebelball zusammen, der sich entweder einfach zu einem Planeten verdichtete, oder während dieser Verdichtung auch seinerseits noch wieder peripherische Massen abstiess, die zu Trabanten wurden, oder in einem Falle, am Saturn, als zusammenhängender Ring stehen blieben. In einem anderen Falle zerfiel die Masse, die sich vom Umfange des Hauptballes abschied, in viele von

einander getrennte Theile und lieferte den Schwarm der kleinen Planeten zwischen Mars und Jupiter.

Unsere neueren Erfahrungen über die Natur der Sternschnuppen lassen uns nun erkennen, dass dieser Prozess der Verdichtung loser zerstreuter Masse zu grösseren Körpern noch gar nicht vollendet ist, sondern, wenn auch in schwachen Resten, noch immer fortgeht. Vielleicht ist er nur dadurch in der Erscheinungsform etwas geändert, dass inzwischen auch die gasartig oder staubartig zerstreute Masse des Weltraumes sich unter dem Einflusse der Attractionskraft und Krystallisationskraft ihrer Elemente in grössere Bröckel vereinigt hat, als deren im Anfang existirten.

Die Sternschnuppenfälle — als die jetzt vor sich gehenden Beispiele des Prozesses, der die Weltkörper gebildet hat — sind noch in anderer Beziehung wichtig. Sie entwickeln Licht und Wärme, und das leitet uns auf eine dritte Reihe von Ueberlegungen, die wieder zu demselben Ziele führt.

Alles Leben und alle Bewegung auf unserer Erde wird mit wenigen Ausnahmen unterhalten durch eine einzige Triebkraft, die der Sonnenstrahlen, welche uns Licht und Wärme bringt. Sie wärmen die Luft der heissen Zone, diese wird leichter und steigt auf, kältere Luft fliesst von den Polen nach. So entsteht die grosse Luftcirculation der Passatwinde. Locale Temperaturunterschiede über Land und Meer, Ebene und Gebirge greifen mannigfaltig abändernd ein in diese grosse Bewegung und bringen uns den launenhaften Wechsel des Windes. Warme Wasserdämpfe steigen mit der warmen Luft auf, verdichten sich als Wolken und fallen in kälteren Zonen und auf die schneeigen Häupter der Berge als Regen, als Schnee. Das Wasser sammelt sich in Bächen, in Flüssen, tränkt die Ebene und macht Leben möglich, zerbröckelt die Steine, schleppt ihre Trümmer mit fort und arbeitet so an dem geologischen Umbau der Erdoberfläche. Nur unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen wächst die bunte Pflanzendecke der Erde auf, und während die Pflanzen wachsen, häufen sie in ihrem Körper organische Substanz an, die wiederum dem ganzen Thierreiche als Nahrung, und dem Menschen insbesondere noch als Brennmaterial dient. Sogar die Steinkohlen und Braunkohlen, die Kraftquellen unserer Dampfmaschinen, sind Reste urweltlicher Pflanzen, alte Erzeugnisse der Sonnenstrahlen.

Dürfen wir uns wundern, wenn unsere Urväter arischen Stammes in Indien und Persien die Sonne als das geeignetste

Symbol der Gottheit ansahen? Sie hatten Recht, wenn sie in ihr die Spenderin alles Lebens, die letzte Quelle allen irdischen Geschehens erblickten.

Aber woher kommt der Sonne diese Kraft? Sie strahlt intensiveres Licht aus, als mit irgend welchen irdischen Mitteln zu erzeugen ist. Sie liefert so viel Wärme, als ob in jeder Stunde 1500 Pfund Kohle auf jedem Quadratfuss ihrer Oberfläche verbrannt würden. Von dieser Wärme, die ihr entströmt, leistet der kleine Bruchtheil, der in unsere Atmosphäre eintritt, eine grosse mechanische Arbeit. Dass Wärme im Stande sei, eine solche zu leisten, lehrt uns jede Dampfmaschine. In der That treibt die Sonne hier, auf Erden eine Art von Dampfmaschine, deren Leistungen denen der künstlich construirten Maschinen bei weitem überlegen sind. Die Wassercirculation in der Atmosphäre schafft, wie schon erwähnt, das aus den warmen tropischen Meeren verdampfende Wasser auf die Höhe der Berge; sie stellt gleichsam eine Wasserhebungsmaschine mächtigster Art dar, mit deren Leistungsgrösse keine künstliche Maschine sich im entferntesten messen kann. Ich habe vorher das mechanische Aequivalent der Wärme angegeben. Danach berechnet, ist die Arbeit, welche die Sonne durch ihre Wärmeausstrahlung leistet, gleichwerthig der fortdauernden Arbeit von 7000 Pferdekräften für jeden Quadratfuss der Sonnenoberfläche.

Längst hatte sich den Technikern die Erfahrung aufgedrängt, dass aus Nichts eine Triebkraft nicht erzeugt werden, dass sie nur aus dem uns dargebotenen, fest begrenzten und nicht willkürlich zu vergrössernden Vorrathe der Natur entnommen werden kann, sei es vom strömenden Wasser oder vom Winde, sei es aus den Steinkohlenlagern oder von Menschen und Thieren, die nicht arbeiten können ohne Lebensmittel zu verbrauchen. Diese Erfahrungen hat die neuere Physik allgemeingültig zu machen gewusst, anwendbar für das grosse Ganze aller Naturprozesse und unabhängig von den besonderen Interessen der Menschen. Sie sind verallgemeinert und zusammengefasst in dem allbeherrschenden Naturgesetze von der Erhaltung der Kraft. Es ist kein Naturprozess und keine Reihenfolge von Naturprozessen aufzufinden, so mannigfache Wechselverhältnisse auch zwischen ihnen stattfinden mögen, durch welchen eine Triebkraft fortdauernd ohne entsprechenden Verbrauch gewonnen werden könnte. Wie das Menschengeschlecht hier auf Erden nur einen begrenzten Vorrath von arbeitsfähigen Triebkräften vorfindet, der benutzt,

aber nicht vermehrt werden kann, so muss es auch im grossen Ganzen der Natur sein. Auch das Weltall hat seinen begrenzten Vorrath an Kraft, der in ihm arbeitet, unter immer wechselnden Formen der Erscheinung, unzerstörbar, unvermehrbar, ewig und unveränderlich, wie die Materie. Es ist, als hätte Goethe eine Ahnung davon gehabt, wenn er den Erdgeist als den Vertreter der Naturkraft von sich sagen lässt:

In Lebensfluthen, im Thatensturm
Wall' ich auf und ab,
Webe hin und her,
Geburt und Grab,
Ein ewiges Meer,
Ein wechselnd Weben,
Ein glühend Leben.
So schaff' ich am sausenden Webstuhl der Zeit,
Und wirke der Gottheit lebendiges Kleid.

Wenden wir uns zurück zu der besonderen Frage, die uns hier beschäftigte, woher hat die Sonne diesen ungeheuren Kraftvorrath, den sie ausströmt?

Auf Erden sind die Verbrennungsprozesse die reichlichste Quelle von Wärme. Kann vielleicht die Sonnenwärme durch einen Verbrennungsprozess entstehen? Diese Frage kann vollständig und sicher mit Nein beantwortet werden; denn wir wissen jetzt, dass die Sonne die uns bekannten irdischen Elemente enthält. Wählen wir aus diesen die beiden, welche bei kleinster Masse durch ihre Vereinigung die grösste Menge Wärme erzeugen können, nehmen wir an, die Sonne bestände aus Wasserstoff und Sauerstoff, in dem Verhältnisse gemischt, wie diese bei der Verbrennung sich zu Wasser vereinigen. Die Masse der Sonne ist bekannt, ebenso die Wärmemenge, welche durch Verbindung bekannter Gewichte von Wasserstoff und Sauerstoff entsteht. Die Rechnung ergiebt, dass die unter der gemachten Voraussetzung durch deren Verbrennung entstehende Wärme hinreichen würde, die Wärmeausstrahlung der Sonne auf 3021 Jahre zu unterhalten. Das ist freilich eine lange Zeit; aber schon die Menschengeschichte lehrt, dass die Sonne viel länger als 3000 Jahre geleuchtet und gewärmt hat, und die Geologie lässt keinen Zweifel darüber, dass diese Frist auf Millionen von Jahren auszudehnen ist.

Die uns bekannten chemischen Kräfte sind also auch bei den günstigsten Annahmen gänzlich unzureichend, eine Wärmeerzeugung zu erklären, wie sie in der Sonne stattfindet, so dass wir diese Hypothese gänzlich fallen lassen müssen.

Wir müssen nach Kräften von viel mächtigeren Dimensionen suchen; und da finden wir nur noch die kosmischen Anziehungskräfte. Wir haben schon gesehen, dass die kleinen Massen der Sternschnuppen und Meteore, wenn ihre kosmischen Geschwindigkeiten durch unsere Atmosphäre gehemmt werden, ganz ausserordentlich grosse Wärmemengen erzeugen können. Die Kraft aber, welche diese grossen Geschwindigkeiten erzeugt hat, ist die Gravitation. Wir kennen diese Kraft schon als eine wirksame Triebkraft an der Oberfläche unseres Planeten, wo sie als irdische Schwere erscheint. Wir wissen, dass ein von der Erde abgehobenes Gewicht unsere Uhren treiben kann, dass ebenso die Schwere des von den Bergen herabkommenden Wassers unsere Mühlen treibt.

Wenn ein Gewicht von der Höhe herabstürzt und auf den Boden schlägt, so verliert die Masse desselben allerdings die sichtbare Bewegung, welche sie als Ganzes hatte; aber in Wahrheit ist diese Bewegung nicht verloren, sondern sie geht nur auf die kleinsten elementaren Theilchen der Masse über, und diese unsichtbare Vibration der Molekeln ist Wärmebewegung. Die sichtbare Bewegung wird beim Stosse in Wärmebewegung verwandelt.

Was in dieser Beziehung für die Schwere gilt, gilt ebenso für die Gravitation. Eine schwere Masse, welcher Art sie auch sein möge, die von einer anderen schweren Masse getrennt im Raume schwebt, stellt eine arbeitsfähige Kraft dar. Denn beide Massen ziehen sich an, und wenn sie, ungehemmt durch eine Centrifugalkraft, unter Einfluss dieser Anziehung sich einander nähern, so geschieht dies mit immer wachsender Geschwindigkeit; und wenn diese Geschwindigkeit schliesslich vernichtet wird, sei es plötzlich durch den Zusammenstoss, sei es allmählich durch Reibung beweglicher Theile, so giebt sie entsprechende Mengen von Wärmebewegung, deren Betrag nach dem vorher angegebenen Aequivalentverhältniss zwischen Wärme und mechanischer Arbeit zu berechnen ist.

Wir dürfen nun wohl mit grosser Wahrscheinlichkeit annehmen, dass auf die Sonne sehr viel mehr Meteore fallen, als auf die Erde und mit grösserer Geschwindigkeit fallen, also auch mehr Wärme geben. Die Hypothese indessen, dass der ganze Betrag der Sonnenwärme fortdauernd der Ausstrahlung entsprechend durch Meteorfälle erzeugt werde, eine Hypothese, welche von Robert Mayer aufgestellt und von mehreren anderen Physikern günstig aufgenommen wurde, stösst nach Sir William Thomson's

Untersuchungen auf Schwierigkeiten. Die Masse der Sonne müsste nämlich in diesem Falle so schnell zunehmen, dass die Folgen davon sich schon in der beschleunigten Bewegung der Planeten verrathen haben würden. Wenigstens kann nicht die ganze Wärmeausgabe der Sonne auf diese Weise erzeugt werden, höchstens ein Theil, der vielleicht nicht unbedeutend sein mag.

Wenn nun keine gegenwärtige uns bekannte Kraftleistung ausreicht, die Ausgabe der Sonnenwärme zu decken, so muss die Sonne von alter Zeit her einen Vorrath von Wärme haben, den sie allmählich ausgiebt. Aber woher dieser Vorrath? Wir wissen schon, nur kosmische Kräfte können ihn erzeugt haben. Da kommt uns die vorher besprochene Hypothese über den Ursprung der Sonne zu Hülfe. Wenn die Stoffmasse der Sonne einst in den kosmischen Räumen zerstreut war, sich dann verdichtet hat — das heisst unter dem Einfluss der himmlischen Schwere auf einander gefallen ist —, wenn dann die entstandene Bewegung durch Reibung und Stoss vernichtet wurde und dabei Wärme erzeugte, so mussten die durch solche Verdichtung entstandenen jungen Weltkörper einen Vorrath von Wärme mitbekommen von nicht bloss bedeutender, sondern zum Theil von colossaler Grösse.

Die Rechnung ergiebt, dass bei Annahme der Wärmecapacität des Wassers für die Sonne die Temperatur auf 28 Millionen Grade[1]) hätte gesteigert werden können, wenn diese ganze Wärmemenge jemals ohne Verlust in der Sonne zusammen gewesen wäre. Das dürfen wir nicht annehmen; denn eine solche Temperatursteigerung wäre das stärkste Hinderniss der Verdichtung gewesen. Es ist vielmehr wahrscheinlich, dass ein guter Theil dieser Wärme, der durch die Verdichtung erzeugt wurde, noch ehe diese vollendet war, anfing in den Raum hinauszustrahlen. Aber die Wärme, welche die Sonne bisher durch ihre Verdichtung hat entwickeln können, würde zugereicht haben um ihre gegenwärtige Wärmeausgabe auf nicht weniger denn 22 Millionen Jahre der Vergangenheit zu decken.

Und die Sonne ist offenbar noch nicht so dicht, wie sie werden kann. Die Spectralanalyse zeigt, dass grosse Eisenmassen und andere bekannte irdische Gebirgsbestandtheile auf ihr anwesend sind. Der Druck, der ihr Inneres zu verdichten strebt,

---

[1]) Siehe die Nachweise zu diesen Zahlen Bd. I, Anhang, 2) Berechnungen, S. 415.

ist etwa 800 Mal so gross, als der Druck im Kern der Erde, und doch beträgt die Dichtigkeit der Sonne, wahrscheinlich in Folge ihrer ungeheuer hohen Temperatur, weniger als ein Viertel von der mittleren Dichtigkeit der Erde.

Wir dürfen es deshalb wohl für sehr wahrscheinlich halten, dass die Sonne in ihrer Verdichtung noch fortschreiten wird, und wenn sie auch nur bis zur Dichtigkeit der Erde gelangt, — wahrscheinlich aber wird sie wegen des ungeheuren Druckes in ihrem Inneren viel dichter werden, — so würde dies neue Wärmemengen entwickeln, welche genügen würden für noch weitere 17 Millionen Jahre dieselbe Intensität des Sonnenscheins zu unterhalten, welche jetzt die Quelle alles irdischen Lebens ist.

Die kleineren Körper unseres Systems konnten sich weniger erhitzen als die Sonne, weil die Anziehung der neu hinzukommenden Massen bei ihnen schwächer war. Ein Körper wie die Erde konnte sich, wenn wir auch ihre Wärmecapacität so hoch wie die des Wassers setzen, immerhin noch auf 9000 Grad erhitzen, auf mehr als unsere Flammen zu Stande bringen. Die kleineren Körper mussten sich schneller abkühlen, wenigstens so lange sie noch flüssig waren. Noch zeigt die mit der Tiefe steigende Wärme in Bohrlöchern, Bergwerken, und die Existenz der heissen Quellen und der vulcanischen Ausbrüche, dass im Inneren der Erde eine sehr hohe Temperatur herrscht, welche kaum etwas anderes sein kann, als ein Rest des alten Wärmevorrathes aus der Zeit ihrer Entstehung. Wenigstens sind die Versuche, für die innere Erdwärme eine jüngere Entstehung aus chemischen Prozessen aufzufinden, bisher nur auf sehr willkürliche Annahmen gestützt und der allgemeinen gleichmässigen Verbreitung der inneren Erdwärme gegenüber ziemlich ungenügend.

Dagegen fällt, wie bei der Sonne, bei den grossen Massen des Jupiter, des Saturn, des Uranus, des Neptun die geringe Dichtigkeit auf, während die kleineren Planeten und der Mond sich der Dichtigkeit der Erde nähern. Man darf auch hier wohl an die höhere Anfangstemperatur und die langsamere Abkühlung denken, wie sie grösseren Massen eigenthümlich ist. Der Mond dagegen zeigt an seiner Oberfläche Bildungen, die in auffallendster Weise an vulcanische Krater erinnern, und die ebenfalls auf alte Glühhitze unseres Trabanten hinweisen. Wie denn auch ferner die Art seiner Rotation, dass er nämlich der Erde immer dieselbe Seite zukehrt, eine Eigenthümlichkeit ist, die durch die Reibung einer Flüssigkeit hervorgebracht werden konnte. Auf

seiner Oberfläche ist von einer Flüssigkeit jetzt nichts mehr wahrzunehmen.

Sie sehen, wie verschiedene Wege uns immer auf denselben Anfangszustand zurückgeführt haben. Die Kant-Laplace'sche Hypothese erweist sich als einer der glücklichen Griffe in der Wissenschaft, die uns anfangs durch ihre Kühnheit erstaunen machen, sich dann nach allen Seiten hin mit anderen Entdeckungen in Wechselbeziehungen setzen und in ihren Folgerungen bestätigen, bis sie uns vertraut werden. Dazu hat in diesem Falle noch ein anderer Umstand beigetragen, nämlich die Wahrnehmung, dass diese Umbildungsprozesse, welche die besprochene Theorie voraussetzt, auch jetzt noch, wenn auch in verringertem

Fig. 10.

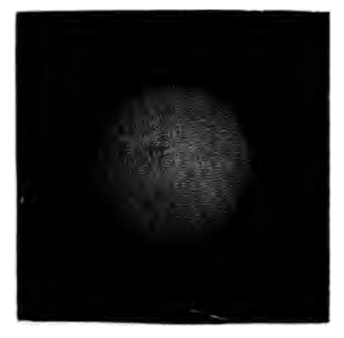
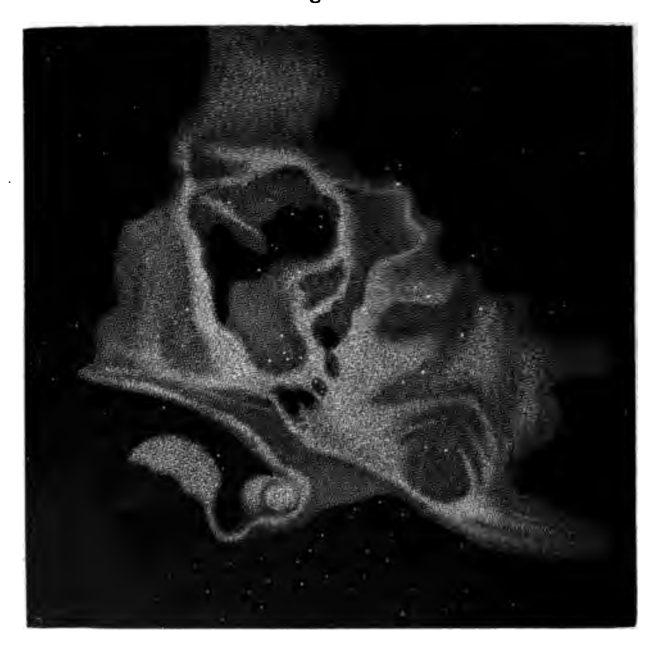
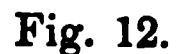


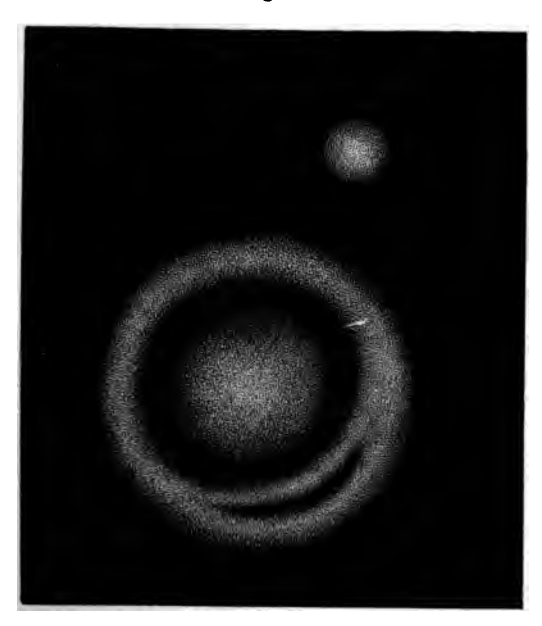
Fig. 11.



Maassstabe, vor sich gehen, wie alle Stadien jener Umbildung auch jetzt noch existiren.

Denn, wie wir anfangs gesehen haben, wachsen auch jetzt noch die schon gebildeten grossen Körper durch Anziehung der im Weltraum zerstreuten meteorischen Massen unter Feuererscheinung. Auch jetzt noch werden die kleineren Körper langsam durch den Widerstand im Weltraum der Sonne zugetrieben. Auch jetzt noch finden wir am Fixsternhimmel nach J. Herschel's neuestem Kataloge über 5000 Nebelflecke, von denen die


Fig. 12.



hinreichend lichtstarken meistens ein Farbenspectrum von feinen hellen Linien geben, wie sie in den Spectren der glühenden Gase erscheinen. Die Nebelflecke sind theils rundliche Gebilde, sogenannte planetarische Nebel (Fig. 10), theils sind sie von ganz unregelmässiger Form, wie der in Fig. 11 dargestellte grosse Nebel aus dem Orion; zum Theil sind sie ringförmig, wie in Fig. 12 aus den Jagdhunden. Sie sind meist nur schwach, aber mit ihrer ganzen Fläche leuchtend, während die Fixsterne immer nur als leuchtende Punkte erscheinen.

In vielen Nebeln unterscheidet man kleine Sterne, wie in Fig. 13 u. Fig. 14 (a. f. S.) aus dem Schützen und Fuhrmann. Man unterschied immer mehr Sterne in ihnen, je bessere Teleskope man zu ihrer Analyse anwandte. So konnte vor der Erfindung

der Spectralanalyse W. Herschel's frühere Ansicht als die wahrscheinlichste angesehen werden, dass, was wir als Nebel sehen, nur Haufen sehr feiner Sterne, andere Milchstrassensysteme seien. Die Spectralanalyse hat nun aber an vielen Nebelflecken, welche Sterne enthalten, ein Gasspectrum gezeigt, während wirkliche Sternhaufen das continuirliche Spectrum glühender fester Körper zeigen. Der Regel nach hat das Spectrum der Nebelflecke drei deutlich erkennbare Linien, deren eine im Blau dem Wasserstoff angehört, eine zweite im Blaugrün dem Stickstoff[1]), die dritte zwischen beiden unbekannten Ursprunges ist. Fig. 15 zeigt ein solches Spectrum eines kleinen aber hellen Nebels im Drachen. Spuren von anderen hellen Linien zeigen sich daneben, zuweilen auch, wie in Fig. 15, Spuren eines continuirlichen Spectrum, welche aber alle zu lichtschwach sind, um genaue Untersuchung zuzulassen. Zu bemerken ist hierbei, dass das Licht sehr lichtschwacher Objecte, welche ein continuirliches Spectrum geben, durch das Spectroskop über eine grosse Fläche ausgebreitet, und deshalb äusserst geschwächt oder selbst ausgelöscht wird, während das unzerlegbare Licht heller Gaslinien

Fig. 13.



Fig. 14.

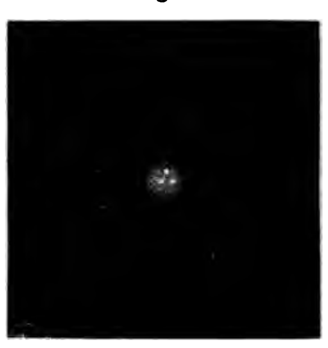
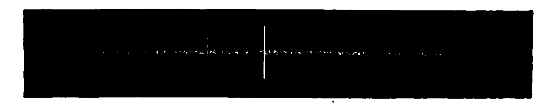


Fig. 15.



[1]) Oder vielleicht auch dem Sauerstoff? Die Linie kommt im Spectrum der atmosphärischen Luft vor, und fehlte bei H. C. Vogel's Beobachtungen im Spectrum des reinen Sauerstoffs.

beisammen bleibt, und deshalb noch gesehen werden kann. Jedenfalls zeigt die Zerlegung des Lichtes der Nebelflecke an, dass der bei weitem grösste Theil ihrer leuchtenden Fläche glühenden Gasen angehört, unter denen Wasserstoffgas einen hervorragenden Bestandtheil ausmacht. Bei planetarischen, kugelförmigen oder scheibenförmigen Nebelflecken könnte man glauben, die Gasmasse habe einen Zustand von Gleichgewicht erreicht; aber die meisten anderen Nebelflecke zeigen höchst unregelmässige Formen, welche in keiner Weise einem solchen Gleichgewichtszustande entsprechen. Da sie dessen ungeachtet ihre Gestalt nicht, oder wenigstens nur in unmerklicher Weise, verändert haben, seit man sie kennt und beobachtet, so müssen sie entweder sehr wenig Masse haben, oder von colossaler Grösse und Entfernung sein. Die erstere Alternative erscheint nicht sehr wahrscheinlich, weil kleine Massen ihre Wärme sehr bald ausgeben würden, und es bleibt also nur die zweite Annahme stehen, dass sie ungeheure Dimensionen und Entfernungen haben. Denselben Schluss hatte übrigens schon W. Herschel gezogen, unter der Voraussetzung, dass die Nebelflecken Sternhaufen seien.

An diejenigen Nebelflecke, welche ausser den Gaslinien auch noch das continuirliche Spectrum glühender dichterer Körper zeigen, schliessen sich theils unaufgelöste, theils in Sternhaufen auflösbare Flecke an, welche nur noch Licht von der letzteren Art zeigen.

Zu diesem Anfangsstadium der sich bildenden Welten gesellen sich die unzähligen leuchtenden Sterne des Himmelsgewölbes, deren Anzahl sich in jedem neuen vollkommeneren Teleskope noch immer vermehrt. Sie sind unserer Sonne ähnlich an Grösse, an Leuchtkraft und im Ganzen auch in der chemischen Beschaffenheit ihrer Oberfläche, wenn auch Unterschiede bestehen in dem Gehalt an einzelnen Elementen.

Aber wir finden im Weltenraume ein drittes Stadium, das der erloschenen Sonnen; auch dafür sind die thatsächlichen Belege vorhanden. Erstens sind im Laufe der Geschichte ziemlich häufige Beispiele von auftauchenden neuen Sternen vorgekommen. Tycho de Brahe beobachtete 1572 einen solchen, der allmählich erblassend zwei Jahre lang sichtbar blieb, fest stand wie ein Fixstern, und endlich in das Dunkel zurückkehrte, aus dem er so plötzlich aufgetaucht war. Der grösste unter allen scheint der im Jahre 1604 von Kepler beobachtete gewesen zu sein, der heller als ein Stern erster Grösse war, und vom 27. September

1604 bis März 1606 beobachtet wurde. Vielleicht war der Grund dieses Aufleuchtens ein Zusammenstoss mit einem kleineren Weltkörper. In neuerer Zeit, als am 12. Mai 1866 ein kleiner Stern zehnter Grösse in der Corona schnell zu einem Stern zweiter Grösse aufleuchtete, lehrte die Spectralanalyse, dass ein Ausbruch glühenden Wasserstoffgases die lichterzeugende Ursache gewesen sei. Dieser Stern leuchtete nur 12 Tage.

In anderen Fällen haben sich dunkle Weltkörper durch ihre Anziehungskraft auf benachbarte helle Sterne, und deren dadurch bedingte Bewegungen verrathen. Solchen Einfluss beobachtete man am Sirius und Procyon. Als Begleiter des ersteren ist wirklich 1862 zu Cambridge in Massachusets von Alvan Clarke und Pond ein kaum sichtbarer Stern gefunden worden, welcher sehr geringe Leuchtkraft besitzt, beinahe sieben Mal schwerer ist als unsere Sonne, etwa halb so grosse Masse hat als Sirius, und dessen Entfernung vom Sirius etwa der des Neptun von der Sonne gleichkommt. Der Begleiter des Procyon dagegen ist noch nicht mit Augen gesehen worden, er scheint ganz dunkel zu sein.

Auch erloschene Sonnen! Die Thatsache, dass solche existiren, giebt den Gründen neues Gewicht, welche uns schliessen liessen, dass auch unsere Sonne ein Körper ist, der den einwohnenden Wärmevorrath langsam ausgiebt und also einst erlöschen wird.

Die vorher angegebene Frist von 17 Millionen Jahren wird vielleicht noch beträchtlich verlängert werden können durch allmählichen Nachlass der Strahlung, durch neuen Zuschuss von hineinstürzenden Meteoren und durch noch weitere Verdichtung. Aber wir kennen bisher keinen Naturprozess, der unserer Sonne das Schicksal ersparen könnte, welches andere Sonnen offenbar getroffen hat. Es ist dies ein Gedanke, dem wir uns nur mit Widerstreben hingeben; er erscheint uns wie eine Verletzung der wohlthätigen Schöpferkraft, die wir sonst in allen, namentlich die lebenden Wesen betreffenden Verhältnissen wirksam finden. Aber wir müssen uns in den Gedanken finden lernen, dass wir, die wir uns gern als den Mittelpunkt und Endzweck der Schöpfung betrachten, nur Stäubchen sind auf der Erde, die selbst ein Stäubchen ist im ungeheuren Weltraume. Ist doch die bisherige Dauer unseres Geschlechtes, wenn wir sie auch weit über die geschriebene Geschichte zurück verfolgen bis in die Zeiten der Pfahlbauten oder der Mammuths, doch nur ein Augenblick, verglichen mit den Urzeiten unseres Planeten, als lebende Wesen

auf ihm hausten, deren Reste uns aus ihren alten Gräbern fremdartig und unheimlich anschauen. Aber noch viel mehr verschwindet die Dauer der Menschengeschichte im Verhältniss zu den ungeheuren Zeiträumen, während welcher Welten sich gebildet haben, wie sie wohl auch fortfahren werden sich zu bilden, wenn unsere Sonne erloschen und unsere Erde in Kälte erstarrt oder mit dem glühenden Centralkörper unseres Systems vereinigt ist.

Aber wer weiss zu sagen, ob die ersten lebenden Bewohner des warmen Meeres auf der jugendlichen Erde, die wir vielleicht als unsere Stammeseltern verehren müssen, den jetzigen kühleren Zustand nicht mit ebenso viel Grauen betrachten würden, wie wir eine Welt ohne Sonne? Wer weiss zu sagen, zu welcher Stufe der Vollendung bei dem wunderbaren Anpassungsvermögen an die Bedingungen des Lebens, welches allen Organismen zukommt, unsere Nachkommen nach 17 Millionen Jahren sich ausgebildet haben werden; ob unsere Knochenreste ihnen nicht dann ebenso ungeheuerlich vorkommen werden, wie uns jetzt die der Ichthyosauren, und ob sie, eingerichtet für ein feineres Gleichgewicht, die Temperaturextreme, zwischen denen wir uns bewegen, nicht für ebenso gewaltsam und zerstörend halten werden, wie uns die der ältesten geologischen Perioden erscheinen. Ja, wenn Erde und Sonne regungslos erstarren sollten, wer weiss zu sagen, welche neue Welten bereit sein werden, Leben aufzunehmen. Die Meteorsteine enthalten zuweilen Kohlenwasserstoffverbindungen; das eigene Licht der Kometenköpfe zeigt ein Spectrum, welches dem des elektrischen Glimmlichtes in kohlenwasserstoffhaltigen Gasen am ähnlichsten ist. Kohlenstoff aber ist für die organischen Verbindungen, aus denen die lebendigen Körper aufgebaut sind, das charakteristische Element. Wer weiss zu sagen, ob diese Körper, die überall den Weltraum durchschwärmen, nicht Keime des Lebens ausstreuen, so oft irgendwo ein neuer Weltkörper fähig geworden ist, organischen Geschöpfen eine Wohnstätte zu gewähren. Und dieses Leben würden wir vielleicht dem unserigen im Keime verwandt halten dürfen, in so abweichenden Formen es sich auch den Zuständen seiner neuen Wohnstätte anpassen möchte.

Aber wie dem auch sei, was unser sittliches Gefühl bei dem Gedanken eines einstigen, wenn noch so fernen Unterganges der lebenden Schöpfung auf dieser Erde aufregt, ist vorzugsweise die Frage, ob alles Leben nur ein zielloses Spiel sei, das endlich

wieder der Zerstörung durch rohe Gewalt anheimfallen werde. Wir beginnen einzusehen unter dem Lichte von Darwin's grossen Gedanken, dass nicht bloss Lust und Freude, sondern auch Schmerz, Kampf und Tod die mächtigen Mittel sind, durch welche die Natur ihre feineren und vollendeteren Lebensformen herausbildet. Und wir Menschen wissen, dass wir in unserer Intelligenz, staatlichen Ordnung und Gesittung von dem Erbtheil zehren, welches unsere Vorfahren durch Arbeit, Kampf und Opfermuth uns erworben haben, und dass, was wir in gleichem Sinne erringen, das Leben unserer Nachkommen veredeln wird. So kann der Einzelne, der für die idealen Zwecke der Menschheit, wenn auch an bescheidener Stelle und in engem Wirkungskreise arbeitet, den Gedanken, dass der Faden seines eigenen Bewusstseins einst abreissen wird, ohne Furcht ertragen. Aber mit dem Gedanken an eine endliche Vernichtung des Geschlechts der Lebenden und damit aller Früchte des Strebens aller vergangenen Generationen konnten auch Männer von so freier und grosser Gesinnung, wie Lessing und David Strauss, sich nicht versöhnen.

Bisher kennen wir noch keine durch wissenschaftliche Beobachtung feststellbare Thatsache, welche uns anzeigte, dass die feine und verwickelte Bewegungsform des Lebens anders als an dem schweren Stoffe des organischen Körpers bestehen, dass sie sich in ähnlicher Weise verpflanzen könnte, wie die Schallbewegung einer Saite ihre ursprüngliche enge und feste Wohnung verlassen und sich im Luftmeere ausbreiten, und dabei doch ihre Tonhöhe und die feinsten Eigenthümlichkeiten ihrer Klangfarbe bewahren kann und gelegentlich, wo sie eine andere gleichgestimmte Saite trifft, in diese wieder einzieht, oder eine zum Singen bereite Flamme zu gleichgestimmter Tönung anregt. Auch die Flamme, dieses ähnlichste Abbild des Lebens unter den Vorgängen der leblosen Natur, kann erlöschen; aber die von ihr erzeugte Wärme besteht weiter, unzerstörbar und unvergänglich, als unsichtbare Bewegung, bald die Molekeln wägbaren Stoffes erschütternd, bald als Aetherschwingung hinausstrahlend in die unbegrenzten Tiefen des Raumes. Und auch dann noch bewahrt sie die charakteristischen Eigenthümlichkeiten ihres Ursprungs, und dem Beobachter, der sie durch das Spectroskop befragt, erzählt sie ihre Geschichte. Neu vereinigt aber können ihre Strahlen eine neue Flamme entzünden, und so gleichsam neues körperliches Leben gewinnen.

Wie die Flamme dem Anscheine nach dieselbe bleibt, und in derselben Gestalt und Beschaffenheit weiter besteht, trotzdem sie in jedem Augenblick neu hinzutretende verbrennliche Dämpfe und neuen Sauerstoff der Atmosphäre in den Strudel ihres aufsteigenden Luftstromes hineinzieht; wie die Welle forteilt in unveränderter Form und doch in jedem Augenblick sich aus neuen Wassertheilchen aufbaut, so ist auch in den lebenden Wesen nicht die bestimmte Masse des Stoffes, die jetzt den Körper zusammensetzt, dasjenige, an dem das Fortbestehen der Individualität haftet. Denn das Material des Körpers ist, wie das der Flamme, fortdauerndem und verhältnissmässig schnellem Wechsel unterworfen, desto schnellerem, je lebhafter die Lebensthätigkeit der betreffenden Organe ist. Einige Bestandtheile des Körpers sind nach Tagen, andere nach Monaten, andere nach Jahren erneuert. Was als das besondere Individuum fortbesteht, ist, wie bei der Flamme und bei der Welle, nur die Bewegungsform, welche unablässig neuen Stoff in ihren Wirbel hineinzieht und den alten wieder ausstösst. Der Beobachter mit taubem Ohre kennt die Schallschwingung nur, so lange sie sichtbar und fühlbar an schwererem Stoff haftet. Sind unsere Sinne dem Leben gegenüber hierin dem tauben Ohre ähnlich?

Optisches über Malerei

Umarbeitung
von
Vorträgen, gehalten zu Berlin, Düsseldorf und Köln a. Rh.
1871 bis 1873

Hochgeehrte Versammlung!

Ich fürchte, dass meine Ankündigung, über einen Zweig der bildenden Kunst sprechen zu wollen, bei manchen meiner Zuhörer ein gewisses Befremden erregt hat. In der That muss ich voraussetzen, dass Viele unter Ihnen reichere Anschauungen von Kunstwerken gesammelt, eingehendere kunsthistorische Studien gemacht haben, als ich sie für mich in Anspruch nehmen kann, oder dass sie in Ausübung der Kunst sich praktische Erfahrung erworben haben, welche mir gänzlich abgeht. Ich bin zu meinen Kunststudien auf einem wenig betretenen Umwege, nämlich durch die Physiologie der Sinne, gelangt. Denen gegenüber, welche schon längst wohl bekannt und wohl bewandert sind in dem schönen Lande der Kunst, muss ich mich mit einem Wanderer vergleichen, der seinen Eintritt über ein steiles und steiniges Grenzgebirge gemacht hat, dabei aber auch manchen Aussichtspunkt erreichte, von dem herab sich eine gute Ueberschau darbot. Wenn ich Ihnen also berichte, was ich erkannt zu haben glaube, so geschieht es meinerseits unter dem Vorbehalte, jeder Belehrung durch Erfahrenere zugänglich bleiben zu wollen.

In der That bietet das physiologische Studium der Art und Weise, wie unsere Sinneswahrnehmungen zu Stande kommen, wie von aussen kommende Eindrücke in unseren Nerven verlaufen und der Zustand der letzteren dadurch verändert wird, mannigfache Berührungspunkte mit der Theorie der schönen Künste. Ich habe bei einer früheren Gelegenheit versucht, solche Beziehungen zwischen der Physiologie des Gehörsinns und der Theorie der Musik darzulegen. Dort sind dieselben besonders auffällig und deutlich, weil die elementaren Formen der musikalischen Gestaltung viel reiner von dem Wesen und den Eigenthümlichkeiten unserer Empfindungen abhängen, als dies in den

übrigen Künsten der Fall ist, bei denen die Art des zu verwendenden Materials und der darzustellenden Gegenstände sich viel einflussreicher geltend macht. Doch ist auch in diesen anderen Zweigen der Kunst die besondere Empfindungsweise desjenigen Sinnesorgans, durch welches der Eindruck aufgenommen wird, nicht ohne Bedeutung. Die theoretische Einsicht in die Leistungen dieser Empfindungsweise und in die Motive ihres Verfahrens wird nicht vollständig sein können, wenn man das physiologische Element nicht berücksichtigt. Nächst der Musik scheint es mir in der Malerei besonders hervorzutreten, und das ist der Grund, warum ich mir die Malerei heute zum Gegenstande meines Vortrags gewählt habe.

Der nächste Zweck des Malers ist, durch seine farbige Tafel in uns eine lebhafte Gesichtsanschauung derjenigen Gegenstände hervorzurufen, die er darzustellen versucht. Es handelt sich also darum eine Art optischer Täuschung zu Stande zu bringen; nicht zwar in dem Maasse, dass wir, wie einst die Vögel, die an den gemalten Weinbeeren des Apelles pickten, glauben sollen, es sei in Wirklichkeit nicht das Gemälde, sondern der dargestellte Gegenstand vorhanden, aber doch in so weit, dass die künstlerische Darstellung in uns eine Vorstellung dieses Gegenstandes hervorruft, so lebensvoll und sinnlich kräftig, als hätten wir ihn in Wirklichkeit vor uns. Das Studium der sogenannten Sinnestäuschungen ist ein hervorragend wichtiger Theil der Physiologie der Sinne. Gerade solche Fälle, wo äussere Eindrücke der Wirklichkeit nicht entsprechende Vorstellungen in uns erregen, sind besonders lehrreich für die Auffindung der Gesetze der Vorgänge und Mittel, durch welche die normalen Wahrnehmungen zu Stande kommen. Wir müssen die Künstler als Individuen betrachten, deren Beobachtung sinnlicher Eindrücke vorzugsweise fein und genau, deren Gedächtniss für die Bewahrung der Erinnerungsbilder solcher Eindrücke vorzugsweise treu ist. Was die in dieser Hinsicht bestbegabten Männer in langer Ueberlieferung und durch zahllose nach allen Richtungen hin gewendete Versuche an Mitteln und Methoden der Darstellung gefunden haben, bildet eine Reihe wichtiger und bedeutsamer Thatsachen, welche der Physiolog, der hier vom Künstler zu lernen hat, nicht vernachlässigen darf. Das Studium der Kunstwerke wird wichtige Aufschlüsse geben können über die Frage, welche Theile und Verhältnisse unserer Gesichtseindrücke die Vorstellung von dem Gesehenen vorzugsweise bestimmen, welche andere dagegen zurücktreten. Erstere

wird der Künstler, soweit es innerhalb der Schranken seines Thuns möglich ist, bewahren müssen auf Kosten der letzteren.

Die aufmerksame Betrachtung der Werke grosser Meister wird in diesem Sinne der physiologischen Optik ebenso förderlich sein, als die Aufsuchung der Gesetze der Sinnesempfindungen und sinnlichen Wahrnehmungen der Theorie der Kunst, d. h. dem Verständniss ihrer Wirkungen, förderlich sein werden.

Allerdings handelt es sich bei diesen Untersuchungen nicht um eine Besprechung der letzten Aufgaben und Ziele der Kunst, sondern nur um eine Erörterung der Wirksamkeit der elementaren Mittel, mit denen sie arbeitet. Aber selbstverständlich wird die Kenntniss der letzteren die unumgängliche Grundlage für die Lösung der tiefer eindringenden Fragen bilden müssen, wenn man die Aufgaben, welche der Künstler zu lösen hat, und die Wege, auf welchen er sein Ziel zu erreichen sucht, verstehen will.

Ich brauche nicht hervorzuheben, weil es sich nach dem Gesagten von selbst versteht, dass es meine Absicht nicht sein kann Vorschriften zu finden, nach denen die Künstler handeln sollten. Ich halte es überhaupt für ein Missverständniss, zu glauben, dass irgend welche ästhetischen Untersuchungen dies jemals leisten könnten; es ist aber ein Missverständniss, welches diejenigen, die nur für praktische Ziele Sinn haben, sehr gewöhnlich begehen.

I. Die Formen.

Der Maler sucht im Gemälde ein Bild äusserer Gegenstände zu geben. Es wird die erste Aufgabe unserer Untersuchung sein nachzusehen, welchen Grad und welche Art von Aehnlichkeit er überhaupt erreichen kann, und welche Grenzen ihm durch die Natur seines Verfahrens gesteckt sind. Der ungebildete Beschauer verlangt in der Regel nur täuschende Naturwahrheit; je mehr er diese erreicht sieht, desto mehr ergötzt er sich an dem Gemälde. Ein Beschauer dagegen, der seinen Geschmack an Kunstwerken feiner ausgebildet hat, wird, sei es bewusst oder unbewusst, Mehr und Anderes verlangen. Er wird eine getreue Copie roher Natur höchstens als ein Kunststück betrachten. Um ihn zu befriedigen, wird eine künstlerische Auswahl, Anordnung und

selbst Idealisirung der dargestellten Gegenstände nöthig sein. Die menschlichen Figuren im Kunstwerk werden nicht die alltäglicher Menschen sein dürfen, wie wir sie auf Photographien sehen, sondern es werden ausdrucksvoll und charakteristisch entwickelte, wo möglich schöne Gestalten sein müssen, die eine Seite des menschlichen Wesens in voller und ungestörter Entwickelung zur lebendigen Anschauung bringen.

Müsste nun ein Gemälde, auch wenn es idealisirte Typen darstellt, nicht wenigstens die wirklich getreue Abbildung der Naturobjecte geben, die es zur Erscheinung bringt?

Diese getreue Abbildung kann, da das Gemälde auf ebener Fläche auszuführen ist, selbstverständlich nur eine getreue perspectivische Ansicht der darzustellenden Objecte sein. Unser Auge, welches seinen optischen Leistungen nach einer Camera obscura, dem bekannten Instrumente der Photographen, gleich steht, giebt auf der Netzhaut, die seine lichtempfindliche Platte ist, auch nur perspectivische Ansichten der Aussenwelt. Sie stehen fest, wie die Zeichnung auf einem Gemälde, so lange der Standpunkt des sehenden Auges nicht verändert wird. Wenn wir zunächst bei den Formen der gesehenen Gegenstände stehen bleiben und von der Betrachtung der Farben absehen, können einem Auge des Beschauers durch eine richtig ausgeführte perspectivische Zeichnung dieselben Formen des Gesichtsbildes gezeigt werden, welche die Betrachtung der dargestellten Objecte von entsprechendem Standpunkte aus demselben Auge gewähren würde.

Abgesehen davon, dass jede Bewegung des Beobachters, wobei sein Auge den Ort ändert, andere Verschiebungen des gesehenen Netzhautbildes hervorbringt, wenn er vor dem wirklichen Objecte als wenn er vor dem Gemälde steht, so konnte ich soeben nur von einem Auge des Beschauers sprechen, für welches die Gleichheit des Eindrucks herzustellen ist. Wir sehen aber die Welt mit zwei Augen an, welche etwas verschiedene Orte im Raum einnehmen und für welche sich deshalb die vor uns befindlichen Gegenstände in zwei etwas verschiedenen perspectivischen Ansichten zeigen. Gerade in dieser Verschiedenheit der Bilder beider Augen liegt eines der wichtigsten Momente zur richtigen Beurtheilung der Entfernung der Gegenstände von unserem Auge und ihrer nach der Tiefe des Raumes hin sich erstreckenden Ausdehnung; gerade dieses fehlt dem Maler oder kehrt sich selbst wider ihn, indem bei zweiäugigem Sehen das Gemälde sich unserer Wahrnehmung unzweideutig als ebene Tafel aufdrängt.

Sie werden Alle die wunderbare Lebendigkeit kennen, welche die körperliche Form der dargestellten Gegenstände bei der Betrachtung guter stereoskopischer Bilder im Stereoskop gewinnt, eine Art der Lebendigkeit, welche jedem einzelnen dieser Bilder, ausserhalb des Stereoskops gesehen, nicht zukommt. Am auffallendsten und lehrreichsten ist die Täuschung an einfachen Linienfiguren, Krystallmodellen und dergleichen, bei denen jedes andere Moment der Täuschung wegfällt. Der Grund für diese Täuschung durch das Stereoskop liegt eben darin, dass wir mit zwei Augen sehend die Welt gleichzeitig von etwas verschiedenen Standpunkten betrachten und dadurch zwei etwas verschiedene perspectivische Bilder derselben gewinnen. Wir sehen mit dem rechten Auge von der rechten Seite eines vor uns liegenden Objectes etwas mehr und auch von den rechts hinter ihm liegenden Gegenständen etwas mehr als mit dem linken Auge, und umgekehrt mit diesem mehr von der linken Seite jedes Objectes und mehr von dem hinter seinem linken Rande liegenden, theilweise verdeckten Hintergrunde. Ein flaches Gemälde aber zeigt dem rechten Auge absolut dasselbe Bild und alle darauf dargestellten Gegenstände ebenso wie dem linken. Verfertigt man dagegen für jedes Auge ein anderes Bild, wie das betreffende Auge nach dem Gegenstande selbst blickend es sehen würde, und combinirt man beide Bilder im Stereoskop, so dass jedes Auge das ihm zukommende Bild sieht, so entsteht, was die Formen des Gegenstandes betrifft, genau derselbe sinnliche Eindruck in beiden Augen, welchen der Gegenstand selbst geben würde. Dagegen wenn wir mit beiden Augen nach einer Zeichnung oder einem Gemälde sehen, erkennen wir ebenso sicher, dass wir eine Darstellung auf ebener Fläche vor uns haben, unterschieden von derjenigen, die der wirkliche Gegenstand beiden Augen zugleich zeigen würde. Daher die bekannte Steigerung der Lebendigkeit des Eindruckes, wenn man ein Gemälde nur mit einem Auge betrachtet, und zugleich still stehend und durch eine dunkle Röhre blickend die Vergleichung seiner Entfernungen mit der anderer benachbarter Gegenstände im Zimmer ausschliesst. Wie man gleichzeitig mit beiden Augen gesehene verschiedene Bilder zur Tiefenwahrnehmung benutzt, so dienen auch die mit demselben Auge bei Bewegungen des Körpers nach einander von verschiedenen Orten aus gesehenen Bilder zu demselben Zwecke. So wie man sich bewegt, sei es gehend, sei es fahrend, verschieben sich die näheren Gegenstände scheinbar gegen die

ferneren; jene scheinen rückwärts zu eilen, diese mit uns zu gehen. Dadurch kommt eine viel bestimmtere Unterscheidung des Nahen und Fernen zu Stande, als uns das einäugige Sehen von unveränderter Stelle aus jemals gewähren kann. Wenn wir uns aber dem Gemälde gegenüber bewegen, so drängt sich uns eben deshalb die sinnliche Wahrnehmung, dass es eine an der Wand hängende ebene Tafel sei, stärker auf, als wenn wir es stillstehend betrachten. Einem entfernteren grossen Gemälde gegenüber werden alle diese Momente, welche im zweiäugigen Sehen und in der Bewegung des Körpers liegen, unwirksamer, weil bei sehr entfernten Objecten die Unterschiede zwischen den Bildern beider Augen, oder zwischen den Ansichten von benachbarten Standpunkten aus, kleiner werden. Grosse Gemälde geben deshalb eine weniger gestörte Anschauung ihres Gegenstandes, als kleine; während doch der Eindruck auf das einzelne ruhende unbewegte Auge von einem kleinen nahen Gemälde genau der gleiche sein könnte, wie von einem grossen und fernen. Nur drängt sich bei dem nahen die Wirklichkeit, dass es eine ebene Tafel sei, fortdauernd viel kräftiger und deutlicher unserer Wahrnehmung auf.

Hiermit hängt es auch, wie ich glaube, zusammen, dass perspectivische Zeichnungen, die von einem dem Gegenstande zu nahen Standpunkte aus aufgenommen sind, so leicht einen verzerrten Eindruck machen. Dabei wird nämlich der Mangel der zweiten für das andere Auge bestimmten Darstellung, welche stark abweichen würde, zu auffallend. Dagegen geben sogenannte geometrische Projectionen, d. h. perspectivische Zeichnungen, welche eine aus unendlich grosser Entfernung genommene Ansicht darstellen, in vielen Fällen eine besonders günstige Anschauung der Objecte, obgleich sie einer in Wirklichkeit nicht vorkommenden Weise ihres Anblicks entsprechen. Für solche nämlich sind die Bilder beider Augen einander gleich.

Sie sehen, dass in diesen Verhältnissen eine erste, nicht zu beseitigende, Incongruenz zwischen dem Anblick eines Gemäldes und dem Anblicke der Wirklichkeit besteht. Dieselbe kann wohl abgeschwächt, aber nicht vollkommen überwunden werden. Durch die mangelnde Wirkung des zweiäugigen Sehens fällt zugleich das wichtigste natürliche Mittel fort, um den Beschauer die Tiefe der dargestellten Gegenstände im Gemälde beurtheilen zu lassen. Es bleiben dem Maler nur eine Reihe untergeordneter Hülfsmittel übrig, theils von beschränkter Anwendbarkeit, theils von geringer

Wirksamkeit, um die verschiedenen Abstände nach der Tiefe auszudrücken. Es ist nicht uninteressant diese Momente kennen zu lernen, wie sie sich aus der wissenschaftlichen Theorie ergeben, da dieselben offenbar auch in der malerischen Praxis einen grossen Einfluss auf die Anordnung, Auswahl, Beleuchtungsweise der darzustellenden Gegenstände ausgeübt haben. Die Deutlichkeit des Dargestellten ist allerdings den idealen Zwecken der Kunst gegenüber scheinbar nur eine untergeordnete Rücksicht, aber man darf ihre Wichtigkeit nicht unterschätzen, denn sie ist die erste Bedingung, um mühelose und sich dem Beschauer gleichsam aufdrängende Verständlichkeit der Darstellung zu erreichen. Diese unmittelbare Verständlichkeit aber ist wiederum die Vorbedingung für eine ungestörte und lebendige Wirkung des Gemäldes auf das Gefühl und die Stimmung des Beobachters.

Die erwähnten untergeordneten Hülfsmittel für den Ausdruck der Tiefendimensionen liegen zunächst in den Verhältnissen der Perspective. Nähere Gegenstände verdecken theilweise fernere, können aber nie von letzteren verdeckt werden. Gruppirt der Maler daher seine Gegenstände geschickt, so dass das genannte Moment in Geltung kommt, so giebt dies schon eine sehr sichere Abstufung zwischen Näherem und Fernerem. Dieses gegenseitige Verdecken ist sogar im Stande die zweiäugige Tiefenwahrnehmung zu besiegen, wenn man absichtlich stereoskopische Bilder herstellt, in welchen Nahes und Fernes sich widersprechen. Weiter sind an Körpern von regelmässiger oder bekannter Gestalt die Formen der perspectivischen Projection meist charakteristisch auch für die Tiefenausdehnung, die dem Gegenstande zukommt. Wenn wir Häuser oder andere Producte des menschlichen Kunstfleisses sehen, so wissen wir von vornherein, dass ihre Formen überwiegend ebene rechtwinkelig gegen einander gestellte Grenzflächen haben, allenfalls verbunden mit Theilen von drehrunden und kugelrunden Flächen. In der Regel genügt eine richtige perspectivische Zeichnung, um daraus die gesammte Körperform unzweideutig zu erkennen. Ebenso für Gestalten von Menschen und Thieren, welche uns wohl bekannt sind, und deren Körper ausserdem zwei symmetrische seitliche Hälften zeigen. Dagegen nützt die beste perspectivische Darstellung nicht viel bei ganz unregelmässigen Formen, z. B. rohen Stein- und Eisblöcken, Laubmassen durcheinander geschobener Baumwipfel. Es zeigt sich dies am besten an photographischen Bildern, bei denen Per-

spective und Schattirung absolut richtig sein können und doch der Eindruck undeutlich und wirr ist.

Werden menschliche Wohnungen in einem Gemälde sichtbar, so bezeichnen sie dem Zuschauer die Richtung der Horizontalflächen, und im Vergleich dazu die Neigung des Terrains, welche ohne sie oft schwer auszudrücken ist.

Weiter kommt in Betracht die scheinbare Grösse, in der Gegenstände von bekannter wirklicher Grösse in den verschiedenen Theilen eines Gemäldes erscheinen. Menschen und Thiere, auch Bäume bekannter Art, dienen dem Maler in dieser Weise. In dem entfernteren Mittelgrunde der Landschaft erscheinen sie kleiner als im Vordergrunde, und so geben sie andererseits durch ihre scheinbare Grösse einen Maassstab für die Entfernung des Ortes, wo sie sich befinden.

Weiter sind von hervorragender Wichtigkeit die Schatten, und namentlich die Schlagschatten. Dass eine gut schattirte Zeichnung viel deutlichere Anschauung giebt als ein Linienumriss, werden Sie alle wissen; eben deshalb ist die Kunst der Schattirung eine der schwierigsten und wirksamsten Seiten in der Leistungsfähigkeit des Zeichners und Malers. Er hat die ausserordentlich feinen Abstufungen und Uebergänge der Beleuchtung und Beschattung auf gerundeten Flächen nachzuahmen, welche das Hauptmittel sind, um die Modellirung derselben mit allen ihren feinen Krümmungsänderungen auszudrücken; er muss dabei die Ausbreitung oder Beschränkung der Lichtquelle, die gegenseitigen Reflexe der Flächen auf einander berücksichtigen. Vorzugsweise wirksam sind auch die Schlagschatten. Während oft die Modificationen der Beleuchtung an den Körperflächen selbst zweideutig sind, der Hohlabguss einer Medaille bei bestimmter Beleuchtung z. B. den Eindruck vorspringender Formen machen kann, die von der anderen Seite her beleuchtet werden: so sind dagegen die Schlagschatten unzweideutige Anzeichen, dass der schattenwerfende Körper der Lichtquelle näher liegt, als der, welcher den Schatten empfängt. Diese Regel ist so ausnahmslos, dass selbst in stereoskopischen Ansichten ein falsch gelegter Schlagschatten die ganze Täuschung aufheben oder in Verwirrung bringen kann.

Um die Schatten in ihrer Bedeutung gut benutzen zu können, ist nicht jede Beleuchtung gleich günstig. Wenn der Beschauer auf die Gegenstände in derselben Richtung blickt, wie das Licht auf sie fällt, so sieht er nur ihre beleuchteten Seiten, und nichts

von ihren Schatten; dann fällt fast die ganze Modellirung fort, welche die Schatten geben könnten. Steht der Gegenstand zwischen der Lichtquelle und dem Beschauer, so sieht er nur die Schatten. Also brauchen wir seitliche Beleuchtung für eine malerisch wirksame Beschattung, und namentlich bei Flächen von nur schwach bewegten Formen ebenen oder hügeligen Landes zeigen sie eine fast in der Richtung der Fläche streifende Beleuchtung, weil nur eine solche überhaupt noch Schatten giebt. Dies ist eine der Ursachen, welche die Beleuchtung durch die aufgehende und untergehende Sonne so wirksam machen. Die Formen der Landschaft werden deutlicher. Dazu kommt dann freilich noch der später zu besprechende Einfluss der Farben und des Luftlichtes.

Directe Beleuchtung von der Sonne oder einer Flamme macht die Schatten scharf begrenzt und hart. Beleuchtung von einer sehr breiten leuchtenden Fläche, wie vom wolkigen Himmel, macht die Schatten verwaschen oder beseitigt sie fast ganz. Dazwischen giebt es Uebergänge; Beleuchtung durch ein Stück der Himmelsfläche, abgegrenzt durch ein Fenster oder Bäume u. s. w. lässt die Schatten, je nach der Art des Gegenstandes, in erwünschter Weise mehr oder weniger hervortreten. Wie wichtig das ist, werden Sie bei den Photographen gesehen haben, die ihr Licht durch allerlei Schirme und Vorhänge abgrenzen müssen, um gut modellirte Portraits zu erhalten.

Viel wichtiger aber als die bisher aufgezählten Momente für die Darstellung der Tiefenausdehnung, welche mehr von localer und zufälliger Bedeutung sind, ist die sogenannte Luftperspective. Darunter versteht man die optische Wirkung des Lichtscheines, welchen die zwischen dem Beschauer und entfernten Gegenständen liegenden beleuchteten Luftmassen geben. Dieser Schein rührt von einer nie ganz schwindenden feinen Trübung der Atmosphäre her. Sind in einem durchsichtigen Mittel feine durchsichtige Theilchen von abweichender Dichtigkeit und abweichendem Lichtbrechungsvermögen vertheilt, so lenken sie das durch ein solches Mittel hindurchgehende Licht, soweit sie davon getroffen werden, theils durch Zurückwerfung, theils durch Brechung von seinem geradlinigen Wege ab und zerstreuen es, wie es die Optik ausdrückt, nach allen Seiten hin. Sind die trübenden Partikelchen sparsam vertheilt, so dass ein grosser Theil des Lichtes zwischen ihnen durchgehen kann, ohne abgelenkt zu werden, so sieht man ferne Gegenstände noch in guten

und deutlichen Umrissen durch ein solches Medium, daneben aber auch einen Theil des Lichtes, nämlich den abgelenkten, als trübenden Lichtschein in der durchsichtigen Substanz selbst verbreitet. Wasser, welches durch wenige Tropfen Milch getrübt ist, zeigt eine solche Zerstreuung des Lichtes und eine nebelige Trübung sehr deutlich.

In der gewöhnlichen Luft unserer Zimmer wird die Trübung deutlich sichtbar, wenn wir das Zimmer verdunkeln und einen Sonnenstrahl durch eine enge Oeffnung eintreten lassen. Wir sehen dann theils grössere für unser Auge wahrnehmbare Sonnenstäubchen, theils eine feine nicht auflösbare Trübung. Aber auch diese letztere muss der Hauptsache nach von schwebenden Staubtheilchen organischer Stoffe herrühren, denn sie können nach einer Bemerkung von Tyndall verbrannt werden. Bringt man eine Spiritusflamme dicht unter die Bahn des Sonnenstrahles, so zeichnet die von der Flamme aufsteigende Luft ihren Weg ganz dunkel in die helle Trübung hinein; das heisst: die durch die Flamme aufsteigende Luft ist vollkommen staubfrei geworden. Im Freien kommt neben dem Staub oder gelegentlichem Rauch auch die Trübung durch beginnende Wasserniederschläge in Betracht, da, wo die Temperatur feuchter Luft so weit sinkt, dass die in ihr enthaltene Wassermenge nicht mehr als unsichtbarer Dunst bestehen kann. Dann scheidet sich ein Theil des Wassers in Form feinster Tröpfchen (Bläschen?) aus, als eine Art feinsten Wasserstaubes, und bildet feinere oder dichtere Nebel, beziehlich Wolken. Die Trübung, welche bei heissem Sonnenschein und trockener Luft entsteht, mag theils von Staub herrühren, welchen die aufsteigenden warmen Luftströme aufwirbeln, theils von der unregelmässigen Durchmischung kühlerer und wärmerer Luftschichten von verschiedener Dichtigkeit, wie sie sich in dem Zittern der unteren Luftschichten über sonnenbestrahlten Flächen verräth. Wovon endlich jene Trübung in der reinsten und trockenen Luft der höheren Schichten der Atmosphäre zurückbleibt, welche das Blau des Himmels hervorbringt — ob wir es auch da mit schwebenden Stäubchen fremder Substanzen zu thun haben, oder ob die Molekeln der Luft selbst als trübende Theilchen im Lichtäther wirken —; darüber weiss die Wissenschaft noch keine sichere Auskunft zu geben.

Die Farbe des Lichtes, welches durch die trübenden Theilchen zurückgeworfen wird, hängt wesentlich von der Grösse der Theilchen ab. Wenn ein Scheit Holz auf dem Wasser schwimmt,

und wir in seiner Nähe durch einen fallenden Tropfen kleine Wellenringe erregen, so werden diese von dem schwimmenden Holz zurückgeworfen, als wäre dasselbe eine feste Wand. Auf den langen Meereswogen aber wird ein Scheit Holz mitgeschaukelt werden, ohne die Wellen dadurch merklich in ihrem Fortschreiten zu stören. Auch das Licht ist bekanntlich eine wellenartig sich ausbreitende Bewegung in dem den Weltraum füllenden Aether. Die rothen und gelben Lichtstrahlen haben die längsten, die violetten und blauen die kürzesten Wellen. Sehr feine Körperchen, welche die Gleichmässigkeit des Aethers stören, werden daher merklicher die violetten und blauen Strahlen zurückwerfen als die rothen und gelben. Je feiner die trübenden Theilchen, desto blauer ist in der That das Licht trüber Medien; während grössere Theilchen Licht von jeder Farbe gleichmässiger zurückwerfen und deshalb weisslichere Trübung geben. Solcher Art ist das Blau des Himmels, das heisst der trüben Atmosphäre, gesehen gegen den dunklen Weltraum. Je reiner und durchsichtiger die Luft ist, desto blauer erscheint der Himmel. Ebenso wird er blauer und dunkler, wenn man auf hohe Berge steigt, theils weil die Luft in der Höhe freier von Trübung ist, theils weil man überhaupt weniger Luft über sich hat. Aber dasselbe Blau, welches man vor dem dunklen Weltraume erscheinen sieht, tritt auch vor dunklen irdischen Objecten, z. B. fernen beschatteten oder bewaldeten Bergen, auf, wenn zwischen diesen und uns eine tiefe Schicht beleuchteter Luft liegt. Dasselbe Luftlicht macht den Himmel wie die Berge blau; nur ist es vor dem Himmel rein, vor den Bergen hingegen mit anderem von den hinterliegenden Gegenständen ausgehendem Lichte gemischt, und gehört ausserdem der gröberen Trübung der unteren Schichten der Atmosphäre an, weshalb es weisslicher ist. In wärmeren Ländern bei trockener Luft ist die Lufttrübung feiner auch in den unteren Schichten der Atmosphäre, und daher das Blau vor entfernten irdischen Gegenständen dem Blau des Himmels ähnlicher. Die Klarheit und die Farbensättigung italienischer Landschaften rührt wesentlich von diesem Umstande her. Auf hohen Bergen dagegen ist die Lufttrübung des Morgens oft so gering, dass die Farben der fernsten Objecte sich kaum von denen der nächsten unterscheiden. Dann kann auch der Himmel fast schwarzblau erscheinen.

Umgekehrt sind dichtere Trübungen meist aus gröberen Theilchen gebildet, und deshalb weisslicher. Dies ist in der Regel der Fall in den unteren Luftschichten und bei Witterungs-

zuständen, wo der in der Luft enthaltene Wasserdunst dem Punkte seiner Verdichtung nahe kommt.

Andererseits ist dem Lichte, welches geraden Weges von fernen Gegenständen durch eine lange Luftschicht in das Auge des Beobachters gelangt, ein Theil seines Violett und Blau durch zerstreuende Reflexion entzogen; es erscheint deshalb gelblich bis rothgelb oder roth; ersteres bei feinerer Trübung, letzteres bei gröberer. So erscheinen Sonne und Mond bei ihrem Auf- und Untergange, ebenso ferne hell beleuchtete Bergspitzen, namentlich Schneeberge, gefärbt.

Uebrigens sind diese Färbungen nicht nur der Luft eigenthümlich, sondern kommen bei allen Trübungen einer durchsichtigen Substanz durch fein vertheilte Partikelchen einer anderen durchsichtigen Substanz vor. Wir sehen sie in verdünnter Milch und in Wasser, dem man einige Tropfen Kölnischen Wassers zugesetzt hat, wobei die im Alkohol des letzteren aufgelösten ätherischen Oele und Harze sich ausscheiden und die Trübung bilden. Ausserordentlich feine blaue Trübungen, noch blauer als die der Luft, kann man nach Tyndall's Beobachtungen hervorbringen, wenn man Sonnenlicht auf Dämpfe gewisser kohlenstoffhaltiger Substanzen zersetzend einwirken lässt. Goethe hat schon auf die Allgemeinheit der Erscheinung aufmerksam gemacht und seine Farbentheorie auf sie zu gründen gesucht.

Als Luftperspective bezeichnet man die künstlerische Darstellung der Lufttrübung, weil durch stärkeres oder geringeres Hervortreten der Luftfarbe über der Farbe der Gegenstände die verschiedene Entfernung derselben sehr bestimmt angezeigt wird, und Landschaften wesentlich dadurch ihre Tiefe erhalten. Je nach der Witterung kann die Lufttrübung grösser oder geringer sein, weisslicher oder blauer. Sehr klare Luft, wie sie nach längerem Regen zuweilen vorkommt, lässt ferne Berge nahe und klein erscheinen, dunstigere fern und gross.

Für den Maler ist das letztere vortheilhaft. Die hohen klaren Landschaften des Hochgebirges, welche den Bergwanderer so häufig verleiten Entfernung und Grösse der vorliegenden Bergspitzen zu unterschätzen, sind malerisch schwer zu verwerthen; desto besser die Ansichten von unten herauf aus den Thälern, von den Seen und Ebenen her, wo die Luftbeleuchtung zart aber merklich entwickelt ist und ebensowohl die verschiedenen Entfernungen und Grössen des Gesehenen deutlich hervortreten lässt, als sie der künstlerischen Einheit der Färbung günstig ist.

Obgleich die Luftfarbe vor den grösseren Tiefen der Landschaft deutlicher hervortritt, fehlt sie bei hinreichend intensiver Beleuchtung nicht ganz vor den nahen Gegenständen eines Zimmers. Was man isolirt und wohlabgegrenzt sieht, wenn Sonnenlicht durch eine Oeffnung des Ladens in ein verdunkeltes Zimmer fällt, fehlt natürlich nicht ganz, wenn das ganze Zimmer beleuchtet ist. Auch hier muss sich die Luftbeleuchtung, wenn sie stark genug ist, vor dem Hintergrunde geltend machen und dessen Farben im Vergleich zu denen der näheren Gegenstände etwas abstumpfen; auch diese Unterschiede, obgleich viel zarter als vor dem Hintergrunde einer Landschaft, sind für den Historien-, Genre- oder Portraitmaler von Bedeutung und steigern, wenn sie fein beobachtet und nachgeahmt sind, die Deutlichkeit seiner Darstellung in hohem Grade.

II. Helligkeitsstufen.

Die bisher besprochenen Verhältnisse zeigen uns zunächst einen tiefgreifenden und für die Auffassung der körperlichen Formen äusserst wichtigen Unterschied zwischen dem Gesichtsbilde, welches unsere Augen uns zuführen, wenn wir vor den Objecten stehen, und demjenigen, welches das Gemälde uns giebt. Dadurch wird die Auswahl der in den Gemälden darzustellenden Gegenstände schon vielfach beschränkt. Die Künstler wissen sehr wohl, dass für ihre Hülfsmittel Vieles nicht darstellbar ist. Ein Theil ihrer künstlerischen Geschicklichkeit besteht darin, dass sie durch passende Anordnung, Stellung und Wendung der Objecte, durch passende Wahl des Gesichtspunktes und durch die Art der Beleuchtung die Ungunst der Bedingungen, die ihnen in dieser Beziehung aufgelegt sind, zu überwinden wissen.

Wie es zunächst scheinen könnte, würde nun doch von der Forderung der Naturwahrheit eines Gemäldes so viel stehen bleiben können, dass dasselbe, vom richtigen Orte angeschaut, wenigstens einem unserer Augen dieselbe räumliche Vertheilung von Licht, Farben und Schatten in seinem Gesichtsfelde darbieten und also auch im Inneren dieses Auges genau dasselbe Netzhautbild entwerfen solle, wie es der dargestellte Gegenstand thun würde, wenn wir ihn wirklich vor uns hätten und von einem bestimmten

unveränderlichen Standpunkt aus betrachteten. Es könnte als Aufgabe der malerischen Technik erscheinen, unter den genannten Beschränkungen durch das Gemälde wirklich den gleichen Eindruck auf das Auge zu erzielen, welchen die Wirklichkeit giebt.

Gehen wir nun daran zu untersuchen, ob und wie weit die Malerei einer solchen Forderung wirklich gerecht werde oder auch nur gerecht werden könne, so treffen wir auch hier wieder auf Schwierigkeiten, vor denen wir vielleicht zurückschrecken würden, wenn wir nicht wüssten, dass sie schon überwunden sind.

Beginnen wir mit dem Einfachsten, mit den quantitativen Verhältnissen der Lichtstärken. Soll der Künstler den Eindruck seines Gegenstandes auf unser Auge genau nachahmen, so müsste er auch auf seinem Bilde gleich grosse Helligkeit und gleich grosse Dunkelheit verwenden können, wie die Natur sie darbietet. Aber daran ist nicht im Entferntesten zu denken. Erlauben Sie mir ein passendes Beispiel zu wählen. In einer Gallerie möge ein Wüstenbild hängen, auf dem ein Zug weiss verhüllter Beduinen und dunkler Neger durch den brennenden Sonnenschein dahinzieht; dicht daneben sei eine bläuliche Mondlandschaft aufgehängt, wo sich der Mond im Wasser spiegelt, und man Baumgruppen, menschliche Gestalten in der Dunkelheit leise angedeutet erkennt. Sie wissen aus Erfahrung, dass beide Bilder, wenn sie gut gemacht sind, in der That mit überraschender Lebendigkeit die Vorstellung ihres Gegenstandes hervorzaubern können, und doch sind in beiden Bildern die hellsten Stellen mit demselben Kremser Weiss nur wenig durch Zumischungen verändert, die dunkelsten mit demselben Schwarz ausgeführt. Beide theilen an derselben Wand dieselbe Beleuchtung, und die hellsten wie die dunkelsten Stellen beider sind deshalb, was den Grad ihrer Helligkeit betrifft, kaum wesentlich unterschieden.

Wie verhält es sich nun mit den dargestellten Helligkeiten in der Wirklichkeit? Das Verhältniss zwischen der Helligkeit der Beleuchtung durch die Sonne und der durch den Vollmond ist von Wollaston gemessen worden, indem er beide, ihrer Stärke nach, mit dem Lichte gleich beschaffener Kerzen verglich. Es hat sich ergeben, dass die Beleuchtung durch die Sonne 800000 Mal stärker ist, als die hellste Vollmondbeleuchtung.

Jeder undurchsichtige Körper, der von irgend einer Lichtquelle beleuchtet wird, kann im günstigsten Falle nur so viel

Licht wieder aussenden, als auf ihn fällt. Indessen scheinen nach Lambert's Beobachtungen selbst die weissesten Körper nur etwa $^2/_5$ des auffallenden Lichtes zurückzusenden. Die Sonnenstrahlen, welche nebeneinander von der Sonne ausgehen, deren Halbmesser nicht ganz 100 000 Meilen beträgt, sind, wenn sie bei uns ankommen, schon gleichmässig über eine Kugelfläche von 20 Millionen Meilen Halbmesser ausgebreitet; ihre Dichtigkeit und Beleuchtungskraft ist hier nur noch der vierzigtausendste Theil von derjenigen, mit welcher sie die Sonnenoberfläche verlassen, und jene Lambert'sche Zahl lässt schliessen, dass auch die hellste weisse Fläche, von senkrechten Sonnenstrahlen getroffen, nur den hunderttausendsten Theil von der Helligkeit der Sonnenscheibe hat. Der Mond aber ist ein grauer Körper, dessen mittlere Helligkeit nur etwa $^1/_5$ von der des hellsten Weiss beträgt.

Bescheint der Mond nun seinerseits einen Körper von hellstem Weiss hier auf Erden, so ist dessen Helligkeit wiederum nur der hunderttausendste Theil von der Helligkeit des Mondes selbst; demnach ist die Sonnenscheibe 80 000 Millionen Mal heller als ein solches vom Vollmond beleuchtetes Weiss.

In einer Gallerie werden die Gemälde nicht von directem Sonnenlicht, sondern nur von reflectirtem Himmels- oder Wolkenlicht beschienen. Directe Messungen von der Helligkeit der Beleuchtung im Inneren einer Bildergallerie sind mir nicht bekannt; indessen lassen sich Schätzungen derselben aus bekannten Daten wohl anstellen. Bei recht grossem Oberlicht und heller Wolkenbeleuchtung könnte das hellste Weiss auf einem Gemälde wohl $^1/_{20}$ von der Helligkeit des direct von der Sonne beleuchteten Weiss haben; meist wird es nur $^1/_{40}$ oder weniger sein.

Der Wüstenmaler also, selbst wenn er auf die Darstellung der Sonnenscheibe verzichtet, die immer nur sehr unvollkommen gelingt, wird die grell beleuchteten Gewänder seiner Beduinen mit einem Weiss darstellen müssen, welches günstigsten Falles nur dem zwanzigsten Theil der Helligkeit der Wirklichkeit entspricht. Könnte man dasselbe mit unveränderter Beleuchtung in die Wüste hinausbringen, so würde es neben dem dortigen Weiss wie ein recht dunkles Grauschwarz erscheinen. In der That zeigte mir ein Versuch, dass sonnenbeleuchteter Lampenruss noch halb so hell ist, wie beschattetes Weiss im helleren Theile eines Zimmers.

Auf dem Mondscheinbilde wird dasselbe Weiss, mit welchem die Beduinenmäntel ausgeführt wurden, mit geringer Zumischung

benutzt werden müssen um die Mondscheibe und ihre Wasserreflexe darzustellen, obgleich der wahre Mond nur ein Fünftel dieser Helligkeit, seine Wasserreflexe noch viel weniger haben sollten. Dagegen werden weisse vom Monde beschienene Gewänder oder Marmorflächen, wenn der Künstler sie auch stark in Grau abtönt, immerhin auf seinem Bilde noch zehn- bis zwanzigtausend Mal heller sein, als sie es unter Vollmondbeleuchtung in Wirklichkeit sind.

Andererseits würde das dunkelste Schwarz, welches der Künstler verwenden könnte, kaum zureichen, um die wahre Beleuchtungsstärke eines vom Vollmond beschienenen weissen Gegenstandes genügend gering darzustellen. Auch das dunkelste Schwarz, Russüberzüge, schwarzer Sammet, kräftig beleuchtet, erscheinen grau, wie wir bei optischen Versuchen oft genug zu unserem Schaden erfahren, wenn wir überflüssiges Licht abzublenden haben. Die Helligkeit eines von mir untersuchten Russüberzuges war etwa $^1/_{100}$ von der Helligkeit weissen Papiers. Die hellsten Farben des Malers sind überhaupt etwa nur hundert Mal so hell, als seine dunkelsten Schatten.

Die gemachten Angaben werden Ihnen vielleicht übertrieben erscheinen. Aber sie beruhen auf Messungen, und können durch wohlbekannte Erfahrungen controlirt werden. Nach Wollaston ist die Beleuchtung durch den Vollmond gleich derjenigen durch eine in 12 Fuss Entfernung gestellte brennende Kerze. Sie werden wissen, dass man im Vollmondschein nicht mehr lesen kann, wohl aber in drei bis vier Fuss Entfernung von einer Kerze. Nun nehmen Sie an, Sie träten aus einem tageshellen Zimmer plötzlich in ein von einer einzigen Kerze beleuchtetes, übrigens absolut lichtloses Gewölbe. Im ersten Augenblicke würden Sie glauben, in absolute Dunkelheit einzutreten und würden höchstens die Kerzenflamme selbst wahrnehmen. Jedenfalls würden Sie von Gegenständen, die 12 Fuss von der Kerze entfernt sind, nicht die geringste Spur erkennen. Diese Gegenstände aber sind so hell wie vom Vollmonde beleuchtet. Erst nach geraumer Zeit würden Sie sich an das Dunkel gewöhnt haben und sich dann allerdings ohne Schwierigkeit zurecht finden.

Kehren Sie an das Tageslicht zurück, wo Sie früher in voller Bequemlichkeit verweilten: so wird Ihnen dasselbe so blendend erscheinen, dass Sie vielleicht die Augen schliessen müssen und nur mit schmerzhafter Lichtscheu umher zu blicken im Stande sind. Sie sehen also: es handelt sich hier nicht um kleinliche,

sondern um colossale Unterschiede. Wie ist unter solchen Umständen überhaupt eine Aehnlichkeit des Eindruckes zwischen Gemälde und Wirklichkeit denkbar?

Unsere Erörterung über das, was wir im Keller anfangs nicht wahrnehmen, später aber unterscheiden konnten, lässt uns schon das wichtigste Moment der Ausgleichung erkennen; es ist die verschiedene Abstumpfung unseres Auges durch Licht, ein Vorgang, den wir mit demselben Namen der Ermüdung, wie den entsprechenden in den Muskeln belegen können. Jede Thätigkeit unserer Nervenapparate setzt vorübergehend deren Leistungsfähigkeit herab. Der Muskel wird ermüdet vom Arbeiten, das Hirn ermüdet vom Denken und von Gemüthsbewegungen, das Auge ermüdet vom Licht, desto mehr, je stärker dieses ist. Die Ermüdung macht es stumpf und unempfindlich gegen neue Lichteindrücke, so dass es starke nur mässig, schwache gar nicht mehr empfindet.

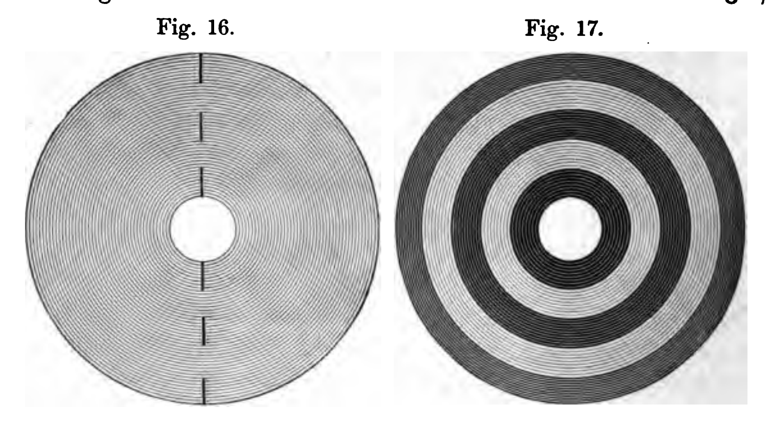
Jetzt aber sehen Sie, wie anders sich bei Berücksichtigung dieser Umstände die Aufgabe des Künstlers stellt. Das Auge des Wüstenfahrers, der der Karawane zusieht, ist selbst durch den blendenden Sonnenschein auf das Aeusserste abgestumpft, das des Mondscheinwanderers in der Dunkelheit zur grössten Höhe der Empfindlichkeit erholt. Von beiden unterscheidet sich der Zustand des Beschauers der Gemälde durch einen gewissen mittleren Grad der Empfindlichkeit des Auges. Der Maler muss also streben, durch seine Farben auf das mässig empfindliche Auge seines Beschauers denselben Eindruck hervorzubringen, wie ihn einerseits die Wüste auf das geblendete, andererseits die Mondnacht auf das vollkommen ausgeruhte Auge ihres Beschauers macht. Neben den wirklichen Beleuchtungsverhältnissen der Aussenwelt spielen also unverkennbar die verschiedenen physiologischen Zustände des Auges eine ausserordentlich einflussreiche Rolle bei dem Werke des Künstlers. Was er zu geben hat, ist hiernach nicht mehr eine reine Abschrift des Objectes, sondern die Uebersetzung seines Eindruckes in eine andere Empfindungsscala, die einem anderen Grade von Erregbarkeit des beschauenden Auges angehört, bei welchem das Organ in seinen Antworten auf die Eindrücke der Aussenwelt eine ganz andere Sprache spricht.

Um Ihnen die Folgen hiervon verständlich zu machen, muss ich Ihnen zunächst das von Fechner gefundene Gesetz für die Empfindungsscala des Auges auseinandersetzen; dasselbe bildet

einen einzelnen Fall des von diesem geistreichen Forscher für die Beziehungen mannigfaltiger sinnlicher Empfindungen zu den sie erregenden Reizen aufgestellten allgemeineren psychophysischen Gesetzes. Dieses Gesetz kann in folgender Weise ausgesprochen werden: Innerhalb sehr breiter Grenzen der Helligkeit sind Unterschiede der Lichtstärke gleich deutlich, oder erscheinen in der Empfindung gleich gross, wenn sie den gleichen Bruchtheil der gesammten verglichenen Lichtstärken ausmachen. So zeigt es sich zum Beispiel, dass man Unterschiede der Helligkeit von einem Hundertstel ihrer gesammten Stärke mit nicht allzu grosser Mühe bei sehr verschiedenen Stärken der Beleuchtung erkennen kann, ohne dass die Sicherheit und Leichtigkeit dieser Unterscheidung erhebliche Unterschiede zeigt, sei es, dass man hellstes Tageslicht oder gute Kerzenbeleuchtung anwendet.

Das leichteste Hülfsmittel, um genau messbare Unterschiede der Helligkeit zwischen zwei weissen Flächen hervorzubringen,

Fig. 16. Fig. 17.



beruht auf der Anwendung schnell rotirender Scheiben. Wenn man eine Scheibe, wie die obenstehende Fig. 16, sehr schnell umlaufen lässt (das heisst 20 bis 30 Mal in der Secunde), so erscheint sie dem Auge, ähnlich wie Fig. 17, mit drei grauen Ringen bedeckt zu sein; nur muss sich der Leser das Grau dieser Ringe, wie es auf der rotirenden Scheibe Fig. 16 erscheint, als eine kaum sichtbare Beschattung des Grundes vorstellen. Es erscheint nämlich bei schnellem Umlaufe der Scheibe jeder Kreis der Scheibe so beleuchtet, als wäre das gesammte Licht, welches ihn trifft, gleichmässig über seinen ganzen Umfang ausgebreitet. Diejenigen Kreisringe nun, in denen die schwarzen Striche liegen,

haben etwas weniger Licht, als die ganz weissen, und wenn man die Breite der Striche mit der Länge des halben Umfanges des betreffenden Kreisringes vergleicht, erhält man den Bruchtheil, um den die Lichtstärke des weissen Grundes der Scheibe in dem betreffenden Ringe vermindert ist. Sind die Striche alle gleich breit, wie in Fig. 16, so sind die inneren Ringe dunkler als die äusseren, weil sich der gleiche Lichtverlust auf jenen über eine kleinere Fläche vertheilt, als bei diesen. Man kann auf diese Weise ausserordentlich zarte Abstufungen der Helligkeit erhalten, und zwar wird bei diesem Verfahren in demselben Ringe bei wechselnder Beleuchtungsstärke die Helligkeit immer um den gleichen Bruchtheil ihres ganzen Werthes vermindert. Dem Fechner'schen Gesetze entsprechend zeigt sich nun in der That, dass die Deutlichkeit der Ringe bei sehr verschiedenen Beleuchtungsstärken nahezu dieselbe bleibt. Nur muss man nicht allzu blendende oder allzu schwache Beleuchtung anwenden. In beiden Fällen verschwinden die feineren Unterschiede dem Auge.

Ganz anders verhält es sich, wenn wir bei verschiedenen Beleuchtungsstärken Unterschiede hervorbringen, die immer derselben Lichtmenge entsprechen. Schliessen wir zum Beispiel bei Tage die Fensterläden eines Zimmers, so dass dieses ganz verdunkelt wird, und erleuchten es nun durch eine Kerze, so werden wir ohne Schwierigkeit die Schatten erkennen könnnen, welche das Kerzenlicht wirft, wie etwa den Schatten unserer Hand, der auf ein weisses Blatt fällt. Lassen wir dagegen die Fensterläden wieder öffnen, so dass das Tageslicht in das Zimmer dringt, so werden wir bei derselben Haltung unserer Hand den von der Kerze geworfenen Schatten nicht mehr erkennen können, trotzdem immer noch auf die von diesem Schatten nicht getroffenen Theile des weissen Blattes dieselbe Menge Kerzenlicht mehr fällt, als auf die von der Hand beschatteten Theile. Aber diese kleine Lichtmenge verschwindet im Vergleich zu der neu hinzugekommenen des Tageslichtes, vorausgesetzt, dass dieses alle Theile des weissen Blattes gleichmässig trifft. Sie sehen daraus, dass, während der Unterschied zwischen Kerzenlicht und Dunkelheit wohl zu erkennen ist, der gleich grosse Unterschied zwischen Tageslicht einerseits und Tageslicht plus Kerzenlicht andererseits nicht mehr erkannt wird.

Dieses Gesetz ist für die Unterscheidung der verschiedenen Helligkeiten der gesehenen Naturkörper von grosser Wichtigkeit. Ein weisser Körper erscheint weiss, weil er einen grossen Bruch-

theil, ein grauer grau, weil er einen kleineren Bruchtheil von dem auffallenden Lichte zurückwirft. Bei wechselnder Beleuchtungsstärke wird also der Helligkeitsunterschied zwischen beiden immer dem gleichen Bruchtheile ihrer gesammten Helligkeit entsprechen, und deshalb unseren Augen gleich wahrnehmbar bleiben, sobald wir uns nicht der oberen oder unteren Grenze der Helligkeit allzu sehr nähern, für welche das Fechner'sche Gesetz nicht mehr gilt. Eben deshalb kann im Allgemeinen der Maler einen gleich gross erscheinenden Unterschied für den Beschauer seines Gemäldes hervorbringen trotz der abweichenden Beleuchtungsstärke in der Gemäldegallerie, wenn er seinen Farben nur das gleiche Verhältniss der Helligkeiten giebt, welches die Wirklichkeit zeigt.

In der That ist bei unserer Betrachtung der Naturkörper die absolute Helligkeit, in der sie unserem Auge erscheinen, zwischen weiten Grenzen wechselnd je nach der Beleuchtungsstärke und der Empfindlichkeit unseres Auges. Constant ist nur das Verhältniss der Helligkeiten, in welchem uns die Flächen von verschieden dunkler Körperfarbe bei gleicher Beleuchtung erscheinen. Also auch nur dieses Verhältniss der Helligkeiten ist für uns dasjenige sinnliche Zeichen, aus welchem wir unsere Urtheile über die dunklere oder hellere Färbung der gesehenen Körper bilden. Dieses Verhältniss kann der Maler ungestört und naturgetreu nachahmen, um in uns die gleiche Vorstellung von der Art der gesehenen Körper hervorzurufen. Eine in dieser Beziehung getreue Nachahmung würde innerhalb der Grenzen, für welche das Fechner'sche Gesetz gilt, erhalten werden, wenn der Künstler die vollbeleuchteten Theile der Körper, welche er darzustellen hat, mit Farben wiedergäbe, welche bei gleicher Beleuchtung der darzustellenden Körperfarbe gleich wären. Annähernd geschieht dieses ja auch; der Maler wählt im Ganzen, namentlich für Gegenstände von geringer Tiefenausdehnung, wie z. B. Portraits, Farbstoffe, welche die Körperfarbe der darzustellenden Objecte nahezu wiedergeben und nur in den beschatteten Theilen dunkler genommen werden. Nach diesem Princip fangen Kinder an zu malen, sie ahmen Körperfarbe durch Körperfarbe nach; ebenso Nationen, bei denen die Malerei auf einem gewissen kindlichen Standpunkte stehen geblieben ist. Zur vollendeten künstlerischen Malerei kommt es erst, wenn nicht mehr die Körperfarben, sondern wenn die Lichtwirkung auf das Auge nachzuahmen gelungen ist; indem wir den Zweck der malerischen

Darstellung in dieser Weise auffassen, wird es allein möglich, die Abweichungen zu verstehen, welche die Künstler in der Wahl ihrer Farben- und Helligkeitsscala der Natur gegenüber haben eintreten lassen.

Zunächst sind diese bedingt dadurch, dass, wie mehrfach erwähnt, das Fechner'sche Gesetz nur für mittlere Grade der Helligkeit volle Gültigkeit hat, während bei zu hoher oder zu geringer Helligkeit merkliche Abweichungen von demselben eintreten.

An beiden Grenzen der Lichtstärken zeigt sich das Auge weniger empfindlich für Lichtunterschiede, als es nach jenem Gesetze sein sollte. Bei sehr starkem Lichte wird es geblendet, das heisst seine innere Thätigkeit kann nicht gleichen Schritt mit dem äusseren Reize halten, die Nervenapparate werden zu schnell ermüdet. Sehr helle Gegenstände sehen fast gleich hell aus, selbst wenn in Wirklichkeit bedeutende Unterschiede in ihrer Lichtstärke bestehen. So hat der Rand der Sonne nur etwa die halbe Lichtstärke ihrer Mitte; aber Niemand von Ihnen wird dies erkannt haben, wenn er nicht durch verdunkelnde Gläser gesehen hat, welche die Helligkeit auf ein bequemes Maass herabsetzen. Aus dem entgegengesetzten Grunde wird das Auge unempfindlicher bei schwachem Licht. Wenn ein Körper so schwach beleuchtet ist, dass wir ihn kaum noch wahrnehmen, so werden wir Verminderung seiner Helligkeit durch einen Schatten um ein Hundertstel oder um ein Zehntel nicht mehr unterscheiden.

Somit folgt, dass bei geringer Helligkeit die dunkleren Objecte den dunkelsten, bei grosser Helligkeit die helleren den hellsten ähnlicher werden, als es nach Fechner's für mittlere Lichtstärken geltendem Gesetze sein sollte. Daraus fliesst für die Malerei ein höchst charakteristischer Unterschied zwischen dem Eindruck sehr starker und sehr schwacher Beleuchtung.

Wollen die Maler glühenden Sonnenschein darstellen, so machen sie alle Objecte fast gleich hell, und reproduciren auf diese Weise mit ihren nur mässig hellen Farben den Eindruck, den die Sonnengluth auf das geblendete Auge des Beobachters macht. Wollen sie dagegen Mondschein darstellen, so geben sie nur die allerhellsten Objecte hell an, namentlich die Reflexe des Mondlichtes an glänzenden Flächen, und halten alles Andere fast unerkennbar dunkel; das heisst, alle dunkleren Gegenstände machen sie dem tiefsten Dunkel, welches sie mit ihren Farben

erzeugen können, ähnlicher, als sie es nach dem wirklichen Verhältniss der Lichtstärken sein sollten. Sie drücken durch ihre Abstufung der Helligkeiten in beiden Fällen die Unempfindlichkeit des Auges für die Unterschiede zu hellen oder zu schwachen Lichtes aus. Könnten sie Farbe von dem blendenden Glanze vollen Sonnenscheins oder von der wirklichen Lichtschwäche des Mondlichtes anwenden, so brauchten sie die Abstufung der Helligkeit in ihren Gemälden nicht anders wiederzugeben, als sie in der Natur ist; dann würde eben das Gemälde genau den gleichen Eindruck auf das Auge machen, wie ihn die gleichen Helligkeitsgrade wirklicher Gegenstände hervorbringen. Die beschriebene Aenderung in der Abstufung der Helligkeiten wird deshalb nöthig; weil die Farben des Gemäldes in der mittleren Helligkeit eines mässig beleuchteten Zimmers gesehen werden, für welche das Fechner'sche Gesetz merklich zutrifft, weil sie aber Gegenstände darstellen sollen, deren Helligkeitsstufen über die Grenze der Anwendbarkeit dieses Gesetzes hinausgehen.

Wir finden eine ähnliche Abweichung, welche der bei Mondscheinlandschaften wirklich gesehenen entspricht, von älteren Meistern, im auffallendsten Maasse von Rembrandt, angewendet in Fällen, wo durchaus nicht der Eindruck von Mondschein oder einer ähnlich schwachen Beleuchtung hervorgebracht werden soll oder hervorgebracht wird. Die hellsten Theile der Objecte sind in diesen Bildern in hellen und leuchtenden gelblichen Farben dargestellt, aber die Abstufungen gegen das Dunkel hin sind sehr gross gemacht, so dass die dunkleren Gegenstände in ein fast undurchdringliches Dunkel versinken. Dieses Dunkel selbst ist überzogen mit dem gelblichen Nebelschein stark beleuchteter Luftmassen, so dass diese Bilder trotz ihrer Dunkelheit den Eindruck sonnigen Lichtes gewähren und dass durch die sehr starke Abstufung der Schatten die Körperformen der Gesichter und Gestalten ausserordentlich kräftig hervorgehoben werden. Die Abweichung von der unmittelbaren Naturwahrheit ist in dieser Abstufung der Lichtstärken sehr auffallend, und doch geben die genannten Bilder ganz besonders lebhafte und eindringliche Anschauungen der dargestellten Gegenstände. Sie sind deshalb für das Verständniss der Principien malerischer Beleuchtung von besonderem Interesse.

Für die Erklärung ihrer Wirkungen muss man, wie ich glaube, berücksichtigen, dass das Fechner'sche Gesetz für die

dem Auge bequemen mittleren Lichtstärken zwar annähernd richtig ist, dass aber doch die Abweichungen, welche für zu hohe und für zu kleine Lichtstärken so auffallend heraustreten, des Einflusses in dem Gebiete der mittleren Lichtstärken nicht ganz entbehren. Nur muss man genauer beobachten, um diesen Einfluss wahrzunehmen. In der That zeigt sich, wenn man auf einer rotirenden Scheibe die allerzartesten Abstufungen von Schatten herstellt, dass solche nur bei einem bestimmten Grade der Beleuchtung sichtbar sind; dieser entspricht etwa der Beleuchtung weissen Papieres an einem hellen Tage, wenn dasselbe voll vom Himmelslichte, aber nicht von der Sonne direct getroffen wird. In solcher Lichtstärke kann man auch Schatten von $^1/_{150}$ oder selbst $^1/_{180}$ der Lichtstärke erkennen. Das Licht, bei welchem man Gemälde betrachtet, ist dagegen viel schwächer; will man also dieselbe Deutlichkeit der feinsten Schatten und der durch sie bezeichneten Modellirung der Formen bewahren, so muss man die Abstufungen der Schatten im Gemälde etwas grösser machen, als es den wirklichen Lichtstärken entspricht. Dadurch werden die dunkelsten Gegenstände, des Gemäldes allerdings unnatürlich dunkel, was aber dem Zweck des Künstlers nicht widerspricht, wenn die Aufmerksamkeit des Beschauers hauptsächlich den helleren zugelenkt werden soll. Die grosse künstlerische Wirksamkeit dieser Manier zeigt uns, wie der Hauptnachdruck in der Nachahmung auf die Abstufung der Helligkeitsunterschiede, nicht auf die absoluten Helligkeiten fällt, und wie die grössten Abweichungen in den letzteren ohne erhebliche Störung ertragen werden, wenn nur ihre Abstufungen ausdrucksvoll nachgeahmt sind.

III. Die Farbe.

An diese Abweichungen der Helligkeiten schliessen sich nun auch gewisse Abweichungen in der Färbung, die physiologisch dadurch bedingt sind, dass die Scala der Empfindungsstärken auch für die verschiedenen Farben verschieden ist. Wie stark die Empfindung ausfällt bei gegebener Beleuchtungsstärke durch Licht einer bestimmten Farbe, hängt durchaus von der besondern Reactionsweise derjenigen Nervenapparate ab, die durch die Einwirkung des betreffenden Lichtes in Erregung versetzt

werden. Nun sind alle unsere Farbenempfindungen Mischungen aus drei verschiedenen einfachen Empfindungen, nämlich Roth, Grün, Violett[1]), die nach einer nicht unwahrscheinlichen Voraussetzung von Thomas Young durch drei verschiedenartige Systeme von Sehnervenfasern ganz unabhängig von einander percipirt werden. Dieser Unabhängigkeit der verschiedenen Farbenempfindungen von einander entspricht nun auch ihre gegenseitige Unabhängigkeit in der Abstufung der Intensitäten. Neuere Messungen[2]) haben gezeigt, dass die Empfindlichkeit unseres Auges für schwache Schatten im Blau am grössten ist, im Roth am kleinsten. Im Blau wird ein Unterschied von $^1/_{205}$ bis $^1/_{268}$ der Lichtstärke erkannt, im Roth vom unermüdeten Auge $^1/_{16}$, bei Abstumpfung der Farbe durch längeres Betrachten $^1/_{50}$ bis $^1/_{70}$.

Das Roth verhält sich also wie eine Farbe, gegen deren Abstufungen das Auge relativ unempfindlicher ist, als gegen die des Blau. Dem entsprechend treten aber auch die Erscheinungen der Blendung bei gesteigerter Helligkeit im Roth schwächer auf, als im Blau. Wählt man nach einer Bemerkung von Dove ein blaues und ein rothes Papier, welche bei mittlerer weisser Beleuchtung gleich hell erscheinen, so erscheint bei sehr abgeschwächter weisser Beleuchtung das Blau, bei sehr verstärkter Beleuchtung das Roth als das hellere. Die gleichen Unterschiede zeigen sich, wie ich selbst beobachtete, noch auffallender an rothen und violetten Spectralfarben, und zwar schon bei sehr mässiger Steigerung ihrer Intensität um den gleichen Bruchtheil für beide.

Nun ist der Eindruck des Weiss gemischt aus den Eindrücken, welche die einzelnen in dem weissen Licht enthaltenen Spectralfarben auf unser Auge machen. Steigern wir die Helligkeit des Weiss, so wird dabei die Empfindungsstärke für die rothen, gelben und grünen Farben verhältnissmässig mehr wachsen, als diejenige für die blauen und violetten. In hellem Weiss werden also die ersteren einen verhältnissmässig stärkeren Eindruck machen, als die letzteren; in schwachem Weiss dagegen die blauen und bläulichen Farben. Sehr helles Weiss erscheint also gelblich, lichtschwaches bläulich gefärbt. Wir werden uns allerdings dieses Unterschiedes bei der gewöhnlichen Betrachtung der uns umgebenden Gegenstände nicht so leicht bewusst, da

[1]) Siehe Bd. I, S. 303 bis 315.

[2]) Dobrowolsky in Graefe's Archiv für Ophthalmologie, Bd. XVIII, Abthl. 1, S. 74 bis 92.

die unmittelbare Vergleichung von Farbentönen sehr verschiedener Helligkeit schwierig ist; wir sind gewöhnt ein und denselben weissen Gegenstand von unveränderter Beschaffenheit bei wechselnder Beleuchtung nach einander in dieser verschiedenen Abänderung des Weiss zu sehen, so dass wir bei unserer Beurtheilung der Körperfarben den Einfluss der Helligkeit zu eliminiren gelernt haben.

Wenn aber dem Maler die Aufgabe erwächst, den Eindruck von sonnenbeleuchtetem Weiss mit lichtschwächeren Farben nachzuahmen, so erreicht er einen höheren Grad von Aehnlichkeit, indem er in seinem Weiss durch Einmischung von Gelb diese Farbe ebenso vorwiegen macht, wie sie in wirklich hellerem Weiss wegen der Reactionsweise des Sehnervenapparates vorwiegen würde. Es ist dasselbe Verfahren, als wenn wir eine Landschaft unter trübem Himmel durch ein gelbes Glas betrachten, und ihr dadurch den Anschein von sonniger Beleuchtung geben. Umgekehrt wird der Künstler mondscheinbeleuchtetes, also sehr lichtschwaches Weiss bläulich machen, da die Farben auf dem Bilde, wie wir gesehen haben, ausserordentlich viel lichtstärker sein müssen als die darzustellende Farbe. Im Mondschein ist in der That kaum noch eine andere Farbe zu erkennen als Blau; der blaue Sternenhimmel oder blaue Blumen können noch deutlich gefärbt erscheinen, während Gelb und Roth nur noch als Verdunkelungen des allgemeinen bläulichen Weiss oder Grau sich merkbar machen.

Wiederum bitte ich Sie zu bemerken, dass diese Aenderungen der Farben nicht nöthig sein würden, wenn dem Künstler Farben von derselben Lichtstärke oder von derselben Lichtschwäche zu Gebote ständen, wie sie die von der Sonne oder vom Monde beleuchteten Körper wirklich zeigen.

Die Veränderung der Farbe ist, wie die vorher besprochene veränderte Abstufung der Helligkeit, eine subjective Wirkung, die der Maler objectiv auf seiner Tafel darstellen muss, weil seine mässig hellen Farben nicht im Stande sind sie hervorzurufen.

Ganz Aehnliches beobachten wir in Bezug auf die Erscheinungen des Contrastes. Wir begreifen unter diesem Namen Fälle, bei denen die Farbe oder Helligkeit einer Fläche dadurch, dass ein Feld von anderer Farbe oder Helligkeit daneben gesetzt wird, verändert erscheint und zwar so, dass die ursprüngliche Farbe durch eine helle Nachbarschaft dunkler, durch eine dunkle Nachbarschaft heller, durch eine gefärbte dagegen entgegengesetzt oder complementärfarbig gemacht wird.

Die Erscheinungen des Contrastes sind sehr verschiedener Art und rühren von verschiedenen Ursachen her. Eine Klasse derselben, Chevreul's simultaner Contrast, ist unabhängig von den Bewegungen des Auges und kommt namentlich zwischen Feldern von sehr geringen Farben- und Helligkeitsunterschieden vor. Dieser Contrast erscheint auf dem Gemälde ebenso gut, wie in der Wirklichkeit und ist den Malern wohlbekannt. Ihre Farbengemische sehen auf der Palette oft ganz anders aus, als sie nachher im Gemälde erscheinen. Die hierher gehörigen Farbenänderungen sind oft ausserordentlich auffallend; doch unterlasse ich hier näher darauf einzugehen, weil sie keine Abweichung zwischen dem Gemälde und der Wirklichkeit bedingen.

Die zweite für uns wichtigere Klasse der Contrasterscheinungen zeigt sich bei Bewegungen des Blickes, und zwar vorzugsweise zwischen Feldern von grösseren Helligkeits- und Farbenunterschieden. Wenn der Blick über helle und dunkle oder farbige Gegenstände und Flächen hingleitet, wird der Eindruck jeder Farbe verändert, indem sie sich auf Theilen der Netzhaut abbildet, die unmittelbar vorher von anderen Farben und Lichtern getroffen und in ihrer Reizempfänglichkeit dadurch verändert worden sind. Diese Art des Contrastes ist deshalb wesentlich von Augenbewegungen abhängig und von Chevreul als successiver Contrast bezeichnet worden.

Wir haben schon vorher gesehen, dass die Netzhaut unseres Auges im Dunkeln empfindlicher gegen schwaches Licht wird, als sie es vorher war. Durch starkes Licht dagegen wird sie abgestumpft und unempfindlicher gegen schwache Lichter, die sie vorher wahrgenommen hatte. Wir hatten diesen letzteren Vorgang als Ermüdung der Netzhaut bezeichnet, als eine Erschöpfung der Leistungsfähigkeit der Netzhaut durch ihre Thätigkeit selbst, ähnlich wie die Ermüdung der Muskeln.

Zunächst ist nun zu erwähnen, dass die Ermüdung der Netzhaut durch Licht sich nicht nothwendig auf die ganze Fläche derselben ausdehnt, sondern sich örtlich beschränkt entwickeln kann, wenn nur ein kleiner Theil dieser Membran durch ein beschränktes helles Bildchen getroffen ist.

Sie Alle werden die dunklen Flecke kennen, welche sich auf dem Gesichtsfelde herum bewegen, wenn man nur kurze Zeit nach der untergehenden Sonne geblickt hat, und welche die Physiologen als negative Nachbilder der Sonne zu bezeichnen pflegen. Diese entstehen dadurch, dass nur diejenigen Theile

der Netzhaut, welche von dem Bilde der Sonne im Auge wirklich getroffen wurden, für neue Lichtwirkung unempfindlicher geworden sind. Blickt man mit einem solchen local ermüdeten Auge auf eine gleichmässig helle Fläche, zum Beispiel auf das Himmelsgewölbe, so empfinden die ermüdeten Theile der Netzhaut den auf sie fallenden Theil des Bildes im Auge schwächer und dunkler als ihre Nachbarn, so dass der Beschauer dunkle Flecke am Himmel zu sehen glaubt, die sich mit seinem Blicke hin- und her bewegen. Er hat dann nebeneinander vor sich in den hellen Theilen der Himmelsfläche den Eindruck, den diese auf die nicht ermüdeten Theile der Netzhaut macht, in den dunkeln Flecken dagegen die Wirkung auf die ermüdeten Theile. So helle Gegenstände, wie die Sonne, rufen allerdings negative Nachbilder am auffallendsten hervor; aber bei einiger Aufmerksamkeit beobachtet man dieselben auch nach viel mässigeren Lichteindrücken. Nur braucht man längere Zeit, um das Nachbild von solchen deutlich erkennbar zu entwickeln; man muss dabei sehr fest einen bestimmten Punkt des hellen Objectes fixiren, ohne das Auge zu bewegen, damit das Bild fest auf der Netzhaut liege und nur eine wohlbegrenzte Stelle der Netzhaut erregt und ermüdet werde; gerade so, wie es zur Erzeugung scharfer photographischer Porträts nöthig ist, das der Abzubildende sich während der Expositionszeit nicht bewege, damit sein Bild auf der photographischen Platte sich nicht hin- und herschiebe. Das Nachbild im Auge ist gleichsam eine Photographie auf der Netzhaut, welche durch die veränderte Empfindlichkeit gegen neues Licht sichtbar wird, nur kurze Zeit stehen bleibt, jedoch um so länger, je stärker und dauernder die Lichtwirkung gewesen ist.

War der fixirte Gegenstand farbig, zum Beispiel rothes Papier, so ist das Nachbild auf grauem Grunde complementär gefärbt, in diesem Falle also grünblau[1]). Rosenrothes Papier

---

[1]) Um diese Art Nachbilder möglichst deutlich zu sehen, thut man gut alle Augenbewegungen zu vermeiden. Man zeichne auf ein grosses Blatt dunkelgrauen Papieres ein schwarzes Kreuzchen, dessen Mitte man andauernd fest fixire und schiebe dann von der Seite ein viereckiges Blatt Papier von derjenigen Farbe heran, deren Nachbild man beobachten will, so dass das Kreuzchen von einer der Ecken berührt wird. Indem man unverwandt das Kreuzchen fixirt, lasse man das Blatt ein bis zwei Minuten fest liegen, und ziehe es dann plötzlich weg, ohne in der genannten Fixation nachzulassen. Dann sieht man an Stelle des weggezogenen Blattes auf dem dunkeln Grunde das Nachbild erscheinen.

giebt dagegen ein rein grünes Nachbild, grünes ein rosenrothes, blaues ein gelbes und gelbes ein blaues. Diese Erscheinungen zeigen, dass in der Netzhaut auch eine theilweise Ermüdung in Bezug auf die verschiedenen Farben möglich ist. Nach Thomas Young's[1]) Hypothese von der Existenz dreier Fasersysteme im Sehnerven, von denen das eine bei jeder Art der Reizung Roth empfindet, das zweite Grün, das dritte Violett, werden bei grüner Beleuchtung nur die grünempfindenden Fasern der Netzhaut kräftig erregt und ermüdet. Wird derselbe Theil der Netzhaut nachher weiss beleuchtet, so ist die Empfindung des Grün abgeschwächt, die des Roth und Violett lebhaft und überwiegend; deren Summe giebt alsdann den Gesammteindruck von Purpur, der sich mit dem unveränderten Weiss des Grundes zu Rosenroth mischt.

Bei der gewöhnlichen Betrachtung lichter und farbiger Objecte pflegen wir nicht dauernd ein und denselben Punkt zu fixiren, weil wir, mit dem Blicke dem Spiel unserer Aufmerkkeit folgend, ihn immer neuen Theilen der Objecte zuwenden, wie sie uns gerade interessiren. Diese Art des Betrachtens, wobei sich demgemäss auch das Auge fortwährend bewegt und das Netzhautbild auf der Netzhaut hin- und hergleitet, hat ausserdem den Vortheil die Störungen des Sehens zu vermeiden, welche starke und dauernde Nachbilder mit sich führen würden. Doch fehlen Nachbilder auch hierbei nicht ganz, sie sind nur verwaschen in ihren Contouren und sehr flüchtig in ihrer Dauer.

Liegt nun ein rothes Feld auf grauem Grunde, und bewegt sich unser Blick vom Roth über den Rand zum Grau, so werden die Randtheile des Grau von einem solchen Nachbilde des Roth getroffen und erscheinen schwach blaugrün gefärbt. Da aber das Nachbild schnell schwindet, so sind es meist nur die dem Roth am nächsten liegenden Theile des Grau, die diese Veränderung in merklichem Grade zeigen.

Auch dies ist eine Erscheinung, welche durch helles Licht und glänzende gesättigte Farben stärker als durch schwächeres Licht und stumpfere Farben hervorgerufen wird. Der Künstler arbeitet vorzugsweise mit den letzteren. Die meisten Farbentöne erzeugt er sich durch Mischung; jeder gemischte Farbstoff ist aber grauer und stumpfer als die reinen Farben, aus denen er gemischt ist, und selbst die wenigen reinen Farbstoffe von sehr

---

[1]) Siehe Bd. I, S. 3'2.

gesättigter Farbe, wie Zinnober und Ultramarin, welche die Oelmalerei verwenden kann, sind verhältnissmässig dunkel. Die lichtstarken Farben der Aquarell- und Pastellmalerei wiederum sind verhältnissmässig weisslich. Daher sind im Allgemeinen lebhafte Contrastwirkungen, wie sie an stark gefärbten und stark beleuchteten Objecten in der Natur beobachtet werden, von ihrer Darstellung im Gemälde nicht zu erwarten. Will also der Künstler den Gesichtseindruck, den die Objecte geben, mit den Farben, die ihm zu Gebote stehen, möglichst eindringlich wiedergeben, so muss er auch die Contraste malen, welche jene erzeugen. Wären die Farben auf dem Gemälde ebenso glänzend und lichtstark, wie an den wirklichen Objecten, so würden sich auch die Contraste vor jenem ebenso gut von selbst erzeugen, wie vor diesen. Auch hier müssen subjective Phänomene des Auges objectiv auf das Gemälde gesetzt werden, weil die Scala der Farben und Helligkeiten auf dem Gemälde eine abweichende ist.

So werden Sie bei einiger Aufmerksamkeit finden, dass Maler und Zeichner eine ebene, gleichmässig erleuchtete Fläche da heller machen, wo sie an Dunkel, dunkler, wo sie an Hell stösst. Sie werden finden, dass gleichmässig graue Flächen gegen Gelb abgetönt werden, wo hinter ihnen am Rande Blau zum Vorschein kommt, gegen Rosa, wo sie an Grün stossen, vorausgesetzt, dass kein vom Blau oder Grün reflectirtes Licht auf das Grau fallen kann. Wo einzelne Sonnenstrahlen, durch das grüne Laubdach eines Waldes dringend, den Boden treffen, erscheinen sie dem gegen das herrschende Grün ermüdeten Auge rosenroth gefärbt, und dem rothgelben Kerzenlicht gegenüber erscheint das durch eine Spalte einfallende weisse Tageslicht blau. So malt sie in der That auch der Maler, da die Farben seines Gemäldes nicht leuchtend genug sind, um ohne solche Nachhilfe den Contrast hervorzubringen.

An die Reihe dieser subjectiven Erscheinungen, welche die Künstler auf ihren Gemälden objectiv darzustellen genöthigt sind, schliessen sich auch noch gewisse Erscheinungen der Irradiation. Man versteht darunter Fälle, wo im Gesichtsfeld irgend ein sehr helles Object steht, und das Licht oder die Farbe desselben über die Nachbarschaft sich ausbreitet. Die Erscheinung ist desto auffallender, je heller das irradiirende Object ist; der über die Nachbarschaft ausgegossene Lichtschein ist in der unmittelbarsten Nähe des hellen Objectes am stärksten, nimmt dagegen in grösserer Entfernung an Stärke ab. Am auffallendsten

sind die Irradiationserscheinungen rings um ein sehr helles Licht auf dunklem Grunde. Verdeckt man dem Auge den Anblick der Flamme durch einen schmalen dunkeln Gegenstand, zum Beispiel einen Finger, so sieht man gleichzeitig einen hellen nebeligen Schein schwinden, der die ganze Nachbarschaft überdeckt, und erkennt deutlicher die Gegenstände, die sich in dem dunkeln Theile des Gesichtsfeldes etwa befinden. Deckt man sich die Flamme mit einem Lineal halb zu, so scheint dieses eingekerbt zu sein an der Stelle, wo die Flamme darüber hervorragt. Hierbei ist der Lichtschein in der Nähe der Flamme so intensiv, dass man seine Helligkeit von der der Flamme selbst schon nicht mehr unterscheidet; die Flamme erscheint, wie es mit jedem sehr hellen Objecte der Fall ist, vergrössert und gleichsam übergreifend über die benachbarten dunkeln Objecte.

Der Grund dieser Erscheinungen ist ein ganz ähnlicher, wie der der sogenannten Luftperspective; es sind Lichtausbreitungen, welche von dem Durchgange des Lichtes durch trübe Medien herrühren, nur dass für die Erscheinungen der Luftperspective die Trübung in der Luft vor dem Auge zu suchen ist, für die eigentlichen Irradiationserscheinungen aber in den durchsichtigen Medien des Auges selbst. Es zeigt sich bei scharfer Beleuchtung des gesundesten menschlichen Auges, die am besten von der Seite her mit einem durch eine Brennlinse concentrirten Bündel von Sonnenstrahlen erfolgt, dass die Hornhaut und die Krystallinse nicht vollkommen klar sind. Scharf beleuchtet erscheinen beide etwas weisslich, wie durch einen feinen Nebel getrübt. In der That sind beides Gewebe von faserigem Bau, welche deshalb in ihrer Structur nicht so homogen sind, wie eine reine Flüssigkeit oder ein reiner Krystall. Jede kleinste Ungleichartigkeit in der Structur eines durchsichtigen Körpers ist aber im Stande, etwas von dem auffallenden Lichte zurückzuwerfen, beziehlich nach allen Seiten hin zu zerstreuen[1]).

Die Erscheinungen der Irradiation kommen auch bei mässigeren Graden der Helligkeit zu Stande. Eine dunkle Oeffnung in einem farbigen von der Sonne beleuchteten Papierblatte oder ein dunkles kleines Object auf einer farbigen Glasplatte, die man gegen den

---

[1]) Ich übergehe hier die Ansicht, wonach die Irradiation im Auge auf einer Ausbreitung der Erregung in der Nervensubstanz beruhen soll, weil mir dieselbe zu hypothetisch erscheint. Uebrigens kommt es bei dem vorliegenden Thema nur auf die Phänomene an, und nicht auf deren Ursache.

hellen Himmel hält, erscheinen ebenfalls mit der Farbe der umliegenden Fläche übergossen.

Die Erscheinungen der Irradiation sind also denen sehr ähnlich, welche die Trübung der Luft hervorbringt. Der einzige wesentliche Unterschied besteht darin, dass die Trübung durch beleuchtete Luft vor ferneren Gegenständen, die mehr Luft vor sich haben, stärker ist als vor näheren Gegenständen, während die Irradiation im Auge ihren Schein gleichmässig über nahe und ferne Gegenstände ausgiesst.

Auch die Irradiation gehört zu den subjectiven Erscheinungen des Auges, die der Künstler objectiv nachahmt, weil die gemalten Lichter und das gemalte Sonnenlicht nicht lichtstark genug sind, ihrerseits eine deutlich wahrnehmbare Irradiation im Auge des Beschauers hervorzubringen.

Ich habe schon vorher die Darstellung, welche der Maler von den Lichtern und Farben seiner Objecte zu geben hat, als eine Uebersetzung bezeichnet und hervorgehoben, dass sie in der Regel eine in allen Einzelheiten getreue Abschrift gar nicht sein könnte. Die veränderte Scala der Helligkeiten, welche der Künstler in vielen Fällen anwenden muss, steht dem schon im Wege. Es sind nicht die Körperfarben der Objecte, sondern es ist der Gesichtseindruck, den sie gegeben haben oder geben würden, so nachzuahmen, dass eine möglichst deutliche und lebendige Anschauungsvorstellung von jenen Objecten entsteht. Indem der Maler die Licht- und Farbenscala ändern muss, in welcher er seine Darstellung ausführt, ändert er nur was an den Gegenständen selbst mannigfachem Wechsel je nach der Beleuchtung und nach der Ermüdung des Auges unterworfen ist. Er behält das Wesentlichere bei, nämlich die Abstufungen der Helligkeit und Farbe. Hierbei drängt sich eine Reihe von Erscheinungen auf, die bedingt sind von der Art, wie unser Auge auf den äusseren Reiz antwortet; weil sie von der Stärke dieses Reizes abhängen, werden sie nicht unmittelbar durch die geänderten Lichtstärken und Farben des Gemäldes hervorgerufen. Diese subjectiven Erscheinungen, welche beim Anblick der Objecte eintreten, würden fehlen, wenn der Maler sie nicht objectiv auf seiner Leinwand darstellte. Die Thatsache, dass sie dargestellt werden, ist besonders bezeichnend für die Art der Aufgabe, die in der malerischen Darstellung zu lösen ist.

Nun spielt in jeder Uebersetzung die Individualität des Uebersetzers ihre Rolle. Bei der malerischen Uebertragung bleiben

viele einflussreiche Verhältnisse der Wahl des Künstlers frei überlassen, um sie je nach individueller Vorliebe oder nach den Erfordernissen seines Gegenstandes zu entscheiden. Er kann die absolute Helligkeit seiner Farben innerhalb gewisser Grenzen frei wählen, ebenso die Grösse der Lichtabstufungen. Er kann letztere, wie Rembrandt, übertreiben, um kraftvolles Relief zu erhalten, oder sie verkleinern, wie etwa Fra Angelico und seine modernen Nachahmer, um die irdischen Schatten in den Darstellungen heiliger Gegenstände zu mildern. Er kann, wie die Holländer, das in der Atmosphäre verbreitete Licht, bald sonnig, bald bleich, bald warm oder kalt hervorheben, um dadurch die von Beleuchtung und Witterungszuständen abhängigen Stimmungen im Beschauer wachzurufen, oder er kann durch ungetrübte Luft, gleichsam objectiv klar und von subjectiven Stimmungen unbeeinflusst, seine Gestalten hervortreten lassen. Dadurch ist eine grosse Mannigfaltigkeit in dem bedingt, was die Künstler den „Stil“ oder die „Vortragsweise“ nennen, und zwar in den rein malerischen Elementen derselben.

IV. Die Farbenharmonie.

Hier drängt sich nun naturgemäss die Frage auf: Wenn der Künstler wegen der geringen Lichtmenge und Sättigung seiner Farben gezwungen wird, auf allerlei indirecten Wegen, durch Nachahmung subjectiver Erscheinungen eine möglichst grosse, aber nothwendig immer unvollkommene Aehnlichkeit mit der Wirklichkeit zu erringen, wäre es nicht zweckmässiger nach Mitteln zu suchen, um diesen Uebelständen abzuhelfen? Und solche Mittel giebt es ja. Frescogemälde zeigen sich zuweilen in vollem Sonnenschein, Transparentbilder und Glasmalereien können viel höhere Grade der Helligkeit, viel gesättigtere Farben benutzen, bei Dioramen und Theaterdecorationen können wir mit starker künstlicher Beleuchtung, nöthigenfalls mit elektrischem Lichte nachhelfen. Aber schon indem ich diese Zweige der Kunst aufzähle, wird Ihnen auffallen, dass diejenigen Gemälde, welche wir als höchste Meisterwerke bewundern, nicht da hinein gehören; sondern dass die meisten der grossen Kunstwerke mit den verhältnissmässig dunkeln Tempera- und Oelfarben

ausgeführt, und für Räume mit gemässigtem Licht bestimmt worden sind. Wären höhere künstlerische Wirkungen mit sonnenbeleuchteten Farben zu erreichen, wir würden unzweifelhaft Gemälde haben, die davon Vortheil zögen. Die Frescomalerei würde dazu übergeleitet haben; oder die Versuche würden nicht vereinzelt geblieben sein, welche Münchens berühmter Optiker Steinheil in naturwissenschaftlichem Interesse anstellte, nämlich Oelgemälde herzustellen, die im vollen Sonnenschein betrachtet werden sollten.

Somit scheint die Erfahrung zu lehren, dass die Mässigung des Lichtes und der Farben in den Gemälden sogar noch ein Vortheil ist; wir brauchen nur sonnenbeschienene Frescogemälde, z. B. die an der neuen Pinakothek in München, zu betrachten, so erfahren wir gleich, worin dieser Vortheil besteht. Die Helligkeit derselben ist nämlich so gross, dass wir sie kaum dauernd betrachten können. Und was in diesem Falle dem Auge schmerzhaft und ermüdend wird, würde sich in geringerem Grade ja immer geltend machen, sobald in einem Gemälde nur stellenweise und in mässigerer Verwendung lichtstärkere Farben vorkämen, die den häufig dargestellten Graden hellen Sonnenscheins und über das Bild ausgegossener Lichtfülle entsprächen. Viel eher gelingt mit künstlicher Beleuchtung in Dioramen und Theaterdecorationen eine genauere Nachahmung des schwachen Lichtes des Mondscheins.

Wir dürfen also wohl die Naturwahrheit eines schönen Gemäldes als eine veredelte Naturtreue bezeichnen. Ein solches giebt alles Wesentliche des Eindruckes wieder und erreicht volle Lebendigkeit der Anschauung, ohne das Auge durch die grellen Lichter der Wirklichkeit zu verletzen und zu ermüden. Die Abweichungen zwischen Kunst und Natur beschränken sich, wie schon erörtert wurde, hauptsächlich auf solche Verhältnisse, welche wir auch der Wirklichkeit gegenüber nur schwankend und unsicher zu beurtheilen vermögen, wie die absoluten Lichtstärken.

Das sinnlich Angenehme, die nur wohlthuende aber nicht ermattende Erregung unserer Nerven, das Gefühl des Wohlseins in ihnen, entspricht hier, wie auch sonst, denjenigen Bedingungen, welche die feinste Unterscheidung und Beobachtung zulassen.

Dass bei einer gewissen mittleren Helligkeit die Unterscheidung der zartesten Schatten und der durch sie ausgedrückten Modellirung der Flächen die feinste sei, ist oben schon erwähnt worden.

Ich möchte Ihre Aufmerksamkeit hier noch einem anderen Punkte zulenken, der für die Malerei grosse Wichtigkeit hat, nämlich der natürlichen Lust an den Farben, welche unverkennbar von grossem Einfluss auf unser Wohlgefallen an den Werken der Malerei ist. In seinen einfachsten Aeusserungen, als Lust an bunten Blumen, Federn, Steinen, an Feuerwerk und bengalischer Beleuchtung, hat dieser Trieb mit dem Kunsttrieb des Menschen noch nicht viel zu schaffen, sondern erscheint nur als die natürliche Lust des empfindenden Organismus an wechselnder und mannigfacher Erregung seiner verschiedenen Empfindungsnerven, die für das gesunde Fortbestehen und die Leistungsfähigkeit derselben nothwendig ist. Aber die durchgreifende Zweckmässigkeit in dem Bau der lebenden Organismen, woher sie auch stammen möge, lässt es nicht zu, dass in der Majorität der gesunden Individuen sich ein Trieb ausbilde oder erhalte, der nicht bestimmten Zwecken diene.

Für die Lust am Licht und an den Farben, für die Scheu vor der Finsterniss haben wir in dieser Beziehung nicht weit zu suchen; sie fällt zusammen mit dem Streben zu sehen, und die umgebenden Gegenstände zu erkennen. Die Finsterniss verdankt den grösseren Theil des Grauens, welches sie einflösst, offenbar der Furcht vor dem Unbekannten und Unerkennbaren, dem man sich gegenübergestellt sieht. Ein farbiges Bild giebt eine viel genauere, reichere und leichtere Anschauung der dargestellten Gegenstände als eine gleich ausgeführte Zeichnung, welche nur die Gegensätze des Hell und Dunkel bewahrt. Das Gemälde bewahrt auch die Letzteren; doch treten die Unterscheidungsmerkmale hinzu, welche die Farben darbieten; in der Zeichnung gleich hell erscheinende Flächen werden bald als verschiedenfarbig verschiedenen Objecten zugewiesen werden, bald gleichfarbig sich als Theile desselben oder gleichartiger Objecte darbieten. Indem der Künstler diese natürlich gegebenen Beziehungen benutzt, wird es ihm leicht durch hervortretende Farben die Aufmerksamkeit des Beschauers auf die Hauptgegenstände des Gemäldes hinzulenken und an diese zu fesseln, durch die Verschiedenheit der Gewänder die Figuren von einander zu trennen, jede einzelne aber in sich zusammenzuhalten. Ja selbst die natürliche Lust an den reinen stark gesättigten Farben findet in dieser Richtung ihre Rechtfertigung. Es verhält sich mit diesen wie in der Musik mit den vollen, reinen, wohltönenden Klängen einer schönen Stimme. Eine solche ist ausdrucksvoller;

das heisst jede kleinste Aenderung ihrer Tonhöhe oder Klangfarbe, jede kleine Unterbrechung, jedes Zittern, jede Schwellung oder Abschwellung derselben giebt sich viel deutlicher augenblicklich dem Hörer zu erkennen, als dasselbe bei einer weniger regelmässig abfliessenden Tonbewegung der Fall sein würde; es scheint auch, dass der starke Empfindungsreiz, den sie im Ohre des Hörers hervorruft, viel gewaltiger als ein schwächerer Reiz gleicher Art Vorstellungsverbindungen und Affecte wachruft. Aehnlich verhält es sich mit den reinen Farben. Eine reine Grundfarbe verhält sich kleinen Einmischungen anderer Farben gegenüber wie ein dunkler Grund, auf welchem der kleinste Lichthauch sichtbar wird. Wie empfindlich Kleiderstoffe von gleichmässig gesättigter Farbe gegen Beschmutzung sind im Vergleich mit der Unempfindlichkeit grauer und graubrauner Stoffe, wird jede der anwesenden Damen oft genug erfahren haben. Dies entspricht den Folgerungen aus der Young'schen Farbentheorie. Nach dieser rührt die Empfindung jeder der Grundfarben von der Erregung nur einer Art farbenempfindender Fasern her, während die beiden anderen Arten in Ruhe sind, oder verhältnissmässig schwach erregt werden. Eine glänzende gesättigte Farbe giebt also starke Erregung und daneben doch grosse Empfindlichkeit in den zur Zeit ruhenden Fasersystemen des Sehnerven gegen Einmischung anderer Farben. Die Modellirung einer farbigen Fläche beruht aber zum grossen Theil auf den Reflexen des andersfarbigen Lichtes, welches von aussen auf sie fällt. Namentlich wenn der Stoff glänzt, sind die Reflexe der glänzenden Stellen überwiegend von der Farbe des beleuchtenden Lichtes; in der Tiefe der Falten dagegen reflectirt die farbige Fläche gegen sich selbst, und macht dadurch ihre eigene Farbe noch gesättigter. Eine weisse Fläche dagegen von grösserer Helligkeit wird blendend und dadurch unempfindlich gegen schwache Schattenabstufungen. So können starke Farben durch die starke Erregung, die sie hervorbringen, das Auge des Beschauers mächtig fesseln und doch ausdrucksvoll für die zarteste Aenderung der Modellirung oder der Beleuchtung, das heisst also ausdrucksvoll im malerischen Sinne, sein.

Wenn sie andererseits allzu grosse Flächen bedecken, so bringen sie schnell Ermüdung für die hervorstechende Farbe und Abstumpfung der Empfindlichkeit gegen dieselbe hervor. Diese Farbe selbst wird dann grauer und auf allen anders gefärbten Flächen kommt ihre Complementärfarbe zum Vorschein, nament-

lich auf grauen oder schwarzen Flächen; daher allzu lebhaft gefärbte einfarbige Kleider und mehr noch Tapeten etwas Beunruhigendes, Ermüdendes haben; die Kleider ausserdem für die Trägerin den Nachtheil bringen, dass sie Gesicht und Hände mit der Complementärfarbe überziehen. Blau erzeugt dabei Gelb, Violett giebt Grüngelb, Purpurroth Grün, Scharlachroth Blaugrün und umgekehrt giebt Gelb Blau u. s. w. Für den Künstler kommt noch der Umstand in Betracht, dass die Farbe für ihn ein einflussreiches Mittel ist, die Aufmerksamkeit des Beschauers nach seinem Willen zu leiten. Um dies zu können, muss er die gesättigten Farben sparsam anwenden, sonst zerstreuen sie die Aufmerksamkeit, das Bild wird bunt. Ferner wird es nöthig die einseitige Ermüdung des beschauenden Auges durch eine zu hervorstechende Farbe zu vermeiden. Das geschieht entweder durch mässige Ausdehnung der hervorstechenden Farbe auf stumpfem, schwach gefärbtem Grunde, oder durch Nebeneinanderstellung verschiedener gesättigter Farben, die ein gewisses Gleichgewicht der Erregung im Auge hervorbringen, und sich gegenseitig im Contrast durch ihre Nachbilder auffrischen und steigern. Eine grüne Fläche nämlich, auf welche das grüne Nachbild einer vorher gesehenen purpurrothen fällt, erscheint in viel gesättigterem Grün, als ohne ein solches Nachbild. Durch die Ermüdung gegen Purpur, das heisst gegen Roth und Violett, wird die Einmischung jeder Spur dieser beiden anderen Farben in das Grün abgeschwächt, während dieses selbst seinen vollen Eindruck hervorbringt. Auf diese Weise wird die Empfindung des Grün von jeder fremden Einmischung gereinigt. Selbst das reinste und gesättigste Grün, welches uns die Aussenwelt im prismatischen Farbenspectrum zeigt, kann auf diese Weise noch eine grössere Sättigung gewinnen. So findet man, dass auch die übrigen oben genannten Paare von Complementärfarben durch ihren Contrast sich gegenseitig glänzender machen, während Farben, die einander sehr nahe stehen, sich durch ihre Nachbilder gegenseitig schädigen und grau machen.

Diese Beziehungen der Farben zu einander haben offenbar einen grossen Einfluss auf den Grad des Wohlgefallens, welches uns verschiedene Farbenzusammenstellungen gewähren. Man kann ohne Schaden zwei Farben zusammenstellen, die einander so ähnlich sind, dass sie wie Abänderungen derselben Farbe, erzeugt durch verschiedene Beleuchtung und Beschattung, erscheinen. So kann man die schattigeren Theile eines scharlachrothen Gegen-

standes carminroth, die eines strohgelben goldgelb malen. Geht man aber über diese Grenze hinaus, so kommt man zu hässlichen Zusammenstellungen, wie Carminroth und Orange (Gelbroth) oder Orange und Strohgelb. Man muss dann den Abstand der Farben vergrössern, um wieder zu angenehmen Zusammenstellungen zu kommen. Die am fernsten von einander stehenden Paare sind die Complementärfarben. Diese zusammengestellt, wie Strohgelb und Ultramarinblau, oder Spangrün und Purpur, haben etwas Nüchternes und Grelles, vielleicht weil wir die zweite Farbe schon überall als Nachbild der ersten auftreten zu sehen erwarten, und die zweite Farbe deshalb nicht hinreichend als neues selbständiges Element der Verbindung sich zu erkennen giebt. Es sind deshalb im Ganzen die Verbindungen solcher Paare am gefälligsten, bei denen die zweite Farbe der Complementärfarbe der ersten nahe kommt, aber noch deutliche Abweichung behält. So sind Scharlachroth und grünliches Blau complementär. Gefälliger als dieses Paar wird die Zusammenstellung, wenn wir das grünliche Blau entweder in Ultramarinblau oder in gelbliches Grün (Blattgrün) übergehen lassen. Im letzteren Falle hat dann die Zusammenstellung ein Uebergewicht nach der Seite des Gelb, im ersteren nach der Seite des Rosenroth. Noch befriedigender als solche Farbenpaare sind Zusammenstellungen von je drei Farben, welche das Gleichgewicht des Farbeneindruckes herstellen; trotz starker Farbenfülle vermeiden sie die einseitige Ermüdung des Auges, ohne doch in die Kahlheit der complementären Zusammenstellungen zu verfallen. Dahin gehört die vielgebrauchte Zusammenstellung der venetianischen Meister Roth, Grün, Violett, und Paul Veronese's Purpurroth, grünlich Blau und Gelb. Die erstere Triade entspricht annähernd den drei physiologischen Grundfarben, so weit diese durch Farbstoffe herzustellen sind; die letztere giebt die drei Mischungen aus je zwei Grundfarben. Feste Regeln über die Harmonie der Farben von ähnlicher Präcision und Sicherheit, wie sie für die Consonanz der Töne gelten, haben sich bisher noch nicht aufstellen lassen. Im Gegentheil zeigt die Durchmusterung der Thatsachen [1]), dass sich eine Menge von Nebeneinflüssen geltend machen, sobald die farbige Fläche gleichzeitig

---

[1]) Siehe darüber: E. Brücke, Die Physiologie der Farben für die Zwecke der Kunstgewerbe. Leipzig, 1866. — W. v. Bezold, Die Farbenlehre im Hinblick auf Kunst und Kunstgewerbe. Braunschweig. 1874.

ganz oder theilweise eine Darstellung von Naturobjecten oder von körperlichen Formen geben soll, oder nur Aehnlichkeit mit der Darstellung eines Reliefs beschatteter und nicht beschatteter Flächen darbietet. Es ist oft schwierig, auch nur thatsächlich festzustellen, welche Farben den harmonischen Eindruck erzeugen. Im höchsten Grade ist dies der Fall auf den eigentlichen Gemälden, wo Luftfärbung, farbige Reflexe und Schatten den Farbenton jeder einzelnen farbigen Fläche, wenn sie nicht ganz eben ist, so mannigfach verändern, dass eine eindeutige Bestimmung ihres Farbentones kaum zu geben ist. Auf solchen Gemälden ist ausserdem die directe Farbenwirkung auf das Auge nur ein untergeordnetes Hülfsmittel, da die hervortretenden Farben und Lichter wesentlich der Hinlenkung der Aufmerksamkeit auf die wichtigeren Punkte der Darstellung dienen müssen. Neben diesen mehr poetischen und psychologischen Momenten treten die Rücksichten auf die wohlthätige Wirkung der Farben weit zurück. Nur in der reinen Ornamentik auf Teppichen, Kleidern, Bändern, architektonischen Flächen waltet das blosse Gefallen an den Farben ziemlich frei und kann sich nach seinen eigenen Gesetzen entwickeln.

In den Gemälden herrscht in der Regel nicht volles Gleichgewicht zwischen den verschiedenen Farben, sondern eine derselben überwiegt bis zu einem gewissen Grade, indem sie der Farbe der herrschenden Beleuchtung entspricht. Das wird zunächst schon durch die naturgetreue Nachahmung der physikalischen Verhältnisse bedingt. Ist die Beleuchtung reich an gelbem Licht, so werden gelbe Farben leuchtender und glänzender erscheinen, als blaue; denn gelbe Körper reflectiren vorzugsweise gelbes Licht, während dasselbe von blauen nur schwach zurückgeworfen, grossentheils verschluckt wird. Im Gegentheil wird sich vor den beschatteten Theilen der blauen Körper das gelbe Luftlicht geltend machen und das Blau mehr oder weniger zu Grau abstumpfen. Dasselbe wird in geringerem Maasse auch vor Roth und Grün geschehen, so dass auch diese Farben in ihren beschatteten Theilen ins Gelbliche hinübergezogen werden. Weiter entspricht dieses Verhältniss in hohem Grade den ästhetischen Forderungen der künstlerischen Einheit der Farbencomposition. Es wird dadurch bedingt, dass auch die abweichenden Farben überall, am deutlichsten in ihren beschatteten Theilen, die Beziehung auf die herrschende Farbe des Gemäldes zeigen und auf diese hinweisen. Wo es fehlt, fallen die verschiedenen

Farben hart und grell aus einander und machen, indem jede die Aufmerksamkeit an sich fesselt, einerseits einen bunten und zerstreuenden, andererseits einen kalten Eindruck, da der Anschein eines über die Objecte ausgegossenen Lichtscheines mangelt.

Ein natürliches Vorbild für die künstlerische Harmonie, welche eine wohldurchgeführte Beleuchtung der Luftmassen in einem Gemälde hervorzubringen vermag, haben wir in der Sonnenuntergangsbeleuchtung, welche auch über die ärmlichste Gegend ein Meer von Licht und Farben auszugiessen und sie dadurch harmonisch zu verklären vermag. Hier liegt der natürliche Grund für die Steigerung der Luftbeleuchtung darin, dass die trüberen unteren Luftschichten nahezu in der Richtung der Sonne liegen und viel stärker reflectiren, während die rothgelbe Farbe des durch die Atmosphäre gegangenen Lichtes auf dem langen Wege, den es dann gerade durch die getrübtesten Luftschichten zurückzulegen hat, sich deutlicher entwickelt; dass ferner diese Färbung bei der eintretenden Beschattung des Hintergrundes stärker hervortritt.

Wenn wir die Summe der angestellten Betrachtungen noch einmal kurz zusammenfassen, so sehen wir zunächst, wie die Forderung der Naturwahrheit in der malerischen Darstellung Beschränkungen unterliegt; wie das zweiäugige Sehen, das hauptsächlichste von der Natur uns gewährte Hülfsmittel, um die Tiefenausdehnung des Gesichtsfeldes zu erkennen, dem Maler fehlt, oder sich vielmehr gegen ihn kehrt, indem es unzweideutig die Flachheit des Gemäldes anzeigt; wie deshalb der Künstler theils die perspectivische Anordnung seiner Gegenstände, ihre Lage und Wendung, theils die Beleuchtung und Beschattung geschickt wählen muss, um uns ein unmittelbar verständliches Bild ihrer Grösse, Gestalt und Entfernung zu geben, und wie schon in diesem Gebiete sich die getreue Darstellung des Luftlichtes als eines der wichtigsten Mittel zeigte, um diesen Zweck zu erreichen.

Dann haben wir gesehen, dass auch die Scala der Lichtstärke, wie sie uns an wirklichen Objecten entgegentritt, auf dem Gemälde in eine total, zuweilen um das Hundertfache abweichende Scala verwandelt werden muss, dass dabei keineswegs die Körperfarbe der Gegenstände einfach durch die Körperfarbe des Farbengemisches nachgeahmt werden darf, sondern dass vielmehr ein-

flussreiche Aenderungen in der Vertheilung von Licht und Dunkel, von gelblichen und bläulichen Farbentönen nöthig werden.

Der Künstler kann die Natur nicht abschreiben, er muss sie übersetzen; dennoch kann diese Uebersetzung uns einen im höchsten Grade anschaulichen und eindringlichen Eindruck nicht bloss der dargestellten Gegenstände, sondern selbst der im höchsten Grade veränderten Lichtstärken geben, unter denen wir sie sehen. Ja, die veränderte Scala der Lichtstärken erweist sich in vielen Fällen sogar als vortheilhaft, indem sie Alles beseitigt, was an den wirklichen Gegenständen zu blendend und zu ermüdend für das Auge wirkt. So ist die Nachahmung der Natur in dem Gemälde zugleich eine Veredelung des Sinneneindruckes. Wir können auch in dieser Beziehung der Betrachtung des Kunstwerkes ruhiger und dauernder nachhängen, als wir dies der Wirklichkeit gegenüber in der Regel thun können. Das Kunstwerk kann diejenigen Lichtabstufungen und Farbentöne herstellen, welche die Modellirung der Formen am deutlichsten und daher am ausdruckvollsten machen. Es kann eine Fülle lebhaft glühender Farben vorführen und durch geschickte Contrastirung derselben die Reizempfänglichkeit des Auges in wohlthätigem Gleichgewicht erhalten. So kann es ungescheut die ganze Energie kräftiger sinnlicher Erregungen und das mit ihnen verknüpfte Lustgefühl zur Fesselung und Lenkung der Aufmerksamkeit verwenden, ihre Mannigfaltigkeit zur Erhöhung der unmittelbar anschaulichen Verständlichkeit des Dargestellten benutzen und dabei doch das Auge in dem für fein unterschiedene sinnliche Wahrnehmungen günstigsten und wohlthuendsten Zustande mässiger Erregung erhalten.

Wenn ich in den vorgeführten Betrachtungen fortdauernd grosses Gewicht auf die leichteste, feinste und genaueste sinnliche Verständlichkeit der künstlerischen Darstellung gelegt habe, so mag dies vielen von Ihnen als eine sehr untergeordnete Rücksicht erscheinen, eine Rücksicht, welche meist als Nebensache behandelt worden ist, wo sie von Aesthetikern überhaupt erwähnt wurde. Ich glaube aber mit Unrecht. Die sinnliche Deutlichkeit ist durchaus kein niedriges oder untergeordnetes Moment bei den Wirkungen der Kunstwerke; ihre Wichtigkeit hat sich mir immer mehr aufgedrängt, je mehr ich den physiologischen Momenten in diesen Wirkungen nachgespürt habe.

Was soll auch ein Kunstwerk, in des Wortes höchstem Sinn, wirken? Es soll unsere Aufmerksamkeit fesseln und beleben, es soll eine reiche Fülle von schlummernden Vorstellungsverbindungen

und damit verknüpften Gefühlen in mühelosem Spiele wachrufen und sie zu einem gemeinsamen Ziele hinlenken. So werden sich die sämmtlichen Züge eines idealen Typus, die in vereinzelten Bruchstücken und von wildem Gestrüpp des Zufalls überwuchert in unserer Erinnerung zerstreut liegen, zu lebensfrischer Anschauung für uns verbinden. Nur dadurch scheint sich die der Wirklichkeit so oft überlegene Macht der Kunst über das menschliche Gemüth zu erklären, dass die Wirklichkeit immer Störendes, Zerstreuendes und Verletzendes in ihre Eindrücke mengt, die Kunst alle Elemente für den beabsichtigten Eindruck sammeln und ungehemmt wirken lassen kann. Die Macht dieses Eindruckes wird unzweifelhaft um so grösser sein, je eindringlicher, je feiner, je reicher die Naturwahrheit des sinnlichen Eindruckes ist, welcher die Vorstellungsreihen und die mit ihnen verbundenen Affecte wachrufen soll. Er muss sicher, schnell, unzweideutig und genau bestimmt wirken, wenn er einen lebendigen und kräftigen Eindruck machen soll. Das sind im Wesentlichen die Punkte, welche ich unter dem Namen der Verständlichkeit des Kunstwerkes zusammenzufassen suchte.

So sind in der That die Eigenthümlichkeiten der künstlerischen Technik, auf welche uns die physiologisch-optische Untersuchung führte, mit den höchsten Aufgaben der Kunst eng verknüpft. Ja wir können vielleicht daran denken, dass selbst das letzte Geheimniss der künstlerischen Schönheit, nämlich das wunderbare Wohlgefallen, welches wir ihr gegenüber empfinden, wesentlich in dem Gefühle des leichten, harmonischen, lebendigen Flusses unserer Vorstellungsreihen begründet sei, die trotz reichen Wechsels wie von selbst einem gemeinsamen Ziele zufliessen, bisher verborgene Gesetzmässigkeit zur volleren Anschauung bringen, und in die letzten Tiefen der Empfindung unserer eigenen Seele uns schauen lassen.

Wirbelstürme und Gewitter

Vortrag
gehalten in Hamburg
1875

Es regnet, wenn es regnen will,
Und regnet seinen Lauf;
Und wenn's genug geregnet hat,
So hört es wieder auf.

Dies Verslein — ich kann nicht einmal mehr herausbringen, wo ich es aufgelesen habe [1]) — hat sich seit alter Zeit in meinem Gedächtniss festgehäkelt, offenbar deshalb, weil es eine wunde Stelle im Gewissen des Physikers berührt und ihm wie ein Spott klingt, den er nicht ganz abzuschütteln vermag, und der noch immer trotz aller neugewonnenen Einsichten in den Zusammenhang der Naturerscheinungen, trotz aller neu errichteten meteorologischen Stationen und unübersehbar langen Beobachtungsreihen nicht gerade weit vom Ziele trifft. Unter demselben Himmelsgewölbe, an welchem die ewigen Sterne als das Sinnbild unabänderlicher Gesetzmässigkeit der Natur einherziehen, ballen sich die Wolken, stürzt der Regen, wechseln die Winde, als Vertreter gleichsam des entgegengesetzten Extrems, unter allen Vorgängen der Natur diejenigen, die am launenhaftesten wechseln, flüchtig und unfassbar jedem Versuche entschlüpfend, sie unter den Zaum des Gesetzes zu fangen. Wenn der Astronom entdeckt, dass eine Sonnenfinsterniss 600 Jahre vor Christo um fünf Viertelstunden falsch aus seiner Rechnung hervorgeht, so verräth ihm dies bisher noch nicht gekannte Einflüsse von Ebbe und Fluth auf die Bewegung der Erde und des Mondes. Der Schiffer auf fernem Meere controlirt seine Uhr nach den ihm vorausgesagten Augenblicken, wo die Verfinsterungen der Jupiterstrabanten eintreten werden. Fragt man dagegen einen Meteorologen, was morgen für Wetter sein werde, so wird man durch

---

[1]) Es ist von Goethe, wie ich nachträglich erfahren habe (1883)

die Antwort jedenfalls erinnert an Bürger's „Mann, der das Wenn und das Aber erdacht", und man darf es den Leuten kaum verdenken, wenn sie bei solchen Gelegenheiten lieber auf Hirten und Schiffer vertrauen, denen die Achtsamkeit auf die Vorzeichen der Witterung durch manchen Regen und Sturm eingepeitscht worden ist[1]).

Wir sind nun freilich durch das, was uns die naturwissenschaftlichen Studien der letzten Jahrhunderte über die allwaltende Gesetzmässigkeit der Natur gelehrt haben, soweit vorgeschritten, dass wir nicht mehr „den wolkensammelnden Zeus, Kronion, den Schleudrer der Blitze", als den Anstifter alles guten und bösen Wetters zu beschuldigen pflegen, sondern wenigstens in abstracto der Ueberzeugung huldigen, dass es sich dabei nur um ein Spiel wohlbekannter physikalischer Kräfte, des Luftdrucks, der Wärme, des verdunstenden und wieder niedergeschlagenen Wassers handelt. Wenn wir aber unsere Abstraction in das Concrete übersetzen sollen, wenn wir aus unserer mühsam errungenen und bei tausend anderen wissenschaftlichen und technischen Anwendungen als genau und zuverlässig bewährten Kenntniss der in Betracht kommenden Kräfte auf die Witterung eines einzelnen Ortes und einer bestimmten Woche schliessen sollen, so könnte man versucht sein, ein deutsches Sprüchwort anzuwenden, — statt dessen ich lieber das höflichere lateinische: „hic haeret aqua" hersetzen will.

Warum ist das nun so? Das ist eine Frage, die, abgesehen von der Wichtigkeit, die eine Lösung der meteorologischen Räthsel für den Schiffer, den Landmann, den Reisenden haben würde, doch auch ein viel weiter reichendes allgemeines Interesse für die Theorie des wissenschaftlichen Erkennens überhaupt hat. Ist es möglich Gründe nachzuweisen dafür, dass der rebellische und absolut unwissenschaftliche Dämon des Zufalls dieses Gebiet noch immer gegen die Herrschaft des ewigen Gesetzes, welche zugleich die Herrschaft des begreifenden Denkens ist, vertheidigen darf? und welches sind diese Gründe?

Ein Blick auf die Erdkarte lehrt zunächst eine Ursache der ausserordentlichen Verwickelung der meteorologischen Vorgänge kennen; das ist die höchst unregelmässige Vertheilung von Land und Meer und die ebenso unregelmässige Erhebung

---

[1]) Dies ist vor der Einrichtung der täglichen telegraphischen Witterungsberichte geschrieben (1883).

der Flächen des Binnenlandes. Wenn man berücksichtigt, dass die einstrahlende Sonnenwärme trocknen Erdboden nur in seiner oberflächlichsten Schicht, da aber sehr stark, erhitzt, während sie in das Wasser tiefer eindringt und dieses deshalb weniger stark, dafür aber in grösserer Masse erwärmt, dass erwärmtes Land wenig, erwärmtes Wasser viel verdunstet, dass wiederum die Bedeckung des Landes mit Pflanzen verschiedener Art, wie die Farbe und Art des oberflächlich zu Tage stehenden Erdreichs oder Gesteins den grössten Einfluss auf die Erwärmung der darüber lagernden Luftschichten hat, so begreift man wohl, dass es keine leichte Aufgabe sein kann, das Exempel auszurechnen, welche Erfolge alle diese verschiedenen Verhältnisse zusammenwirkend hervorbringen müssen, selbst wenn wir für jeden Quadratfuss der Erdoberfläche anzugeben wüssten, wie seine Beschaffenheit in Bezug auf die Wärmeverhältnisse ist.

Wenn aber auch eine solche Rechnung noch nicht auszuführen ist, so sollte man doch erwarten, dass, wie es z. B. bei dem ähnlichen Probleme der Ebbe und Fluth schon gelang, die Beobachtung des Witterungsverlaufs in einem oder einigen Jahren Schlüsse auf die übrigen Jahre zulassen werde. Auch Ebbe und Fluth werden durch regelmässig wechselnde Kräfte, die Anziehung der Sonne und des Mondes, unterhalten, und auch für sie hindert die unregelmässige Gestalt des Meeresbeckens die theoretische Berechnung der Fluthhöhe für jeden einzelnen Punkt der Küste. Dennoch genügen hier einige wenige Beobachtungen an einem gegebenen Orte, um den Verlauf von Ebbe und Fluth, Zeit ihres Eintritts und Höhe für die einzelnen Tage vor- und rückwärts mit ausreichender Genauigkeit zu berechnen. Es brauchen nur zwei für den Ort geltende Grössen, die Höhe der Fluth bei Vollmond oder Neumond und die Zeit, um welche sie sich gegen den Augenblick des Monddurchgangs durch den Meridian verspätet, durch Beobachtung bestimmt zu werden, so kann man Fluthtafeln für den betreffenden Ort vollständig berechnen, wie solche für alle wichtigeren Häfen alljährlich den Seefahrern geliefert und sogar den Fahrplänen der Dampfschiffe zu Grunde gelegt werden.

Warum ist es nun mit dem Wetter anders, da doch alljährlich die Sonne in derselben Weise auf dieselben Flächen von Land und Wasser einwirkt? Warum erzeugen dieselben Ursachen unter scheinbar denselben Bedingungen nicht in jedem Jahre wieder dieselben Wirkungen?

Um diese Frage richtig zu begrenzen, müssen wir zunächst bemerken, dass nicht überall auf der Erde das Wetter so launenhaft ist wie bei uns. In der heissen Zone ist es im Allgemeinen viel regelmässiger. Im Atlantischen Meere südwärts von den Canarischen Inseln bis zum Aequator herrscht Jahr aus, Jahr ein derselbe gleichmässige Nordostpassat bei blauem Himmel und treibt den Schiffer leicht und sicher nach Mittelamerika hinüber. Die Spanier nannten diesen Theil des Oceans deshalb „das Meer der Damen“. Aehnlich verhält es sich auf den meisten Meeren der heissen Zone. Im tropischen Amerika wird man eingeladen, an einem der nächsten Tage „nach dem Gewitter“ zu kommen, so bestimmt erwartet man, dass ein solches Nachmittags eintrete. Schon in Südeuropa sind die mittleren Sommermonate ziemlich frei von Störungen, es herrschen dann die nordöstlichen Sommerwinde, die Etesien der Griechen, welche schon Aristoteles beschrieb; wie denn auch schon Nearchos, der Admiral des macedonischen Alexander, den Kriegsplan seiner Expedition nach Indien auf den regelmässigen Wechsel des Monsuns im Indischen Meere baute.

Aber auch in denjenigen Erdstrichen und in den Jahreszeiten, wo das Wetter durch besondere Launenhaftigkeit sich auszeichnet, lässt sich zwischen dem wilden Spiele des Zufalls wenigstens noch ein Rest von Regelmässigkeit erkennen. Es können bei uns gelegentlich einzelne ungewöhnlich kühle Sommertage vorkommen, welche geringere Temperatur haben, als etwa einzelne ausnahmsweise warme Tage des Januar, aber wir sind ganz sicher, dass auch bei uns die Durchschnittstemperatur jedes Sommers höher ist, als die Durchschnittstemperatur jedes Winters. Die Unregelmässigkeiten verschwinden, wenn wir für einen bestimmten Ort aus längeren Zeitabschnitten oder aus einer grösseren Anzahl von Jahren die Mittelwerthe nehmen. So haben in der That die Meteorologen durch lange fortgesetzte Reihen von Beobachtungen die mittleren Temperaturen, Barometerstände, Regenmengen, Windrichtungen für eine Reihe von Stationen und für die einzelnen Monate oder für noch kleinere Perioden von je fünf Tagen zu ermitteln gesucht, um dadurch den regelmässigen Theil der Erscheinungen von dem unregelmässigen zu trennen.

Diesen regelmässigen Theil der Bewegungen, dessen ursächliche Verhältnisse übrigens meist nicht schwer zu entdecken sind erlaube ich mir zunächst so weit in das Gedächtniss meiner

Leser zurückzurufen, als wir nachher der Kenntniss desselben bedürfen werden. Die Erde gewinnt ihre Wärme durch die Sonnenstrahlen, welche ungleichmässig über ihre Oberfläche vertheilt sind. Sie wirken sehr stark in der Nachbarschaft des Aequators, wo sie gegen Mittag beinahe senkrecht einfallen, schwach dagegen an den Polen, wo die Sonne sich nie hoch über den Horizont erhebt. Dagegen verliert die Erde ihre Wärme durch Strahlung gegen den kalten Weltraum, und diese erfolgt fast gleichmässig von allen Theilen der Oberfläche, zum Theil auch von der Atmosphäre. Eben deshalb bildet die Nachbarschaft des Aequators die heisse Zone; dort wird die Luft am meisten erhitzt, dadurch ausgedehnt und leichter gemacht. In den kalten Zonen rings um die Pole wird dagegen die Erdoberfläche am meisten abgekühlt, und die über ihr stehende Luft wird am dichtesten und schwersten. Die Luft der kalten Zone wird demzufolge als die schwerere zu Boden sinken und sich längs des Bodens ausbreiten, was sie nur thun kann, indem sie gegen den Aequator hinfliesst. Die Luft der heissen Zone dagegen wird aufsteigen und sich in der Höhe ausbreiten, das heisst oben nach den Polen hin abfliessen. Da nun die dem Aequator zufliessende Luft, wenn sie in die wärmeren Zonen gelangt, sich ihrerseits auch erwärmt und aufsteigt, die in der Höhe zurückfliessende warme Luft dagegen sich kühlt, sobald sie über die kälteren Theile des Bodens gelangt, so giebt dies eine fortdauernde Circulation der ganzen Masse der Atmosphäre, die am Boden überwiegend vom Pole zum Aequator, in der Höhe dagegen vom Aequator zum Pole gerichtet ist. Es sind dies dieselben Ursachen, die über jeder Kerzen- oder Lampenflamme, im Inneren jedes geheizten Ofens ein Aufsteigen der Luft bedingen, die in jedem geheizten Zimmer eine Circulation der Luft verursachen, bei welcher die Luft am Ofen aufsteigt, längs der Decke zur Fensterwand fliesst, an dieser niedersinkt und am Boden zum Ofen zurückkehrt.

In der Atmosphäre wird die Richtung dieser Ströme nun noch durch die tägliche Rotation der Erde um ihre eigene Axe erheblich verändert. Diese Bewegung ertheilt jedem Punkte des Aequators eine Geschwindigkeit von 463 m für die Secunde in der Richtung von Westen nach Osten; dagegen haben die Parallelkreise von höherer geographischer Breite geringere west-östliche Geschwindigkeit in dem Maasse, in welchem ihr Halbmesser kleiner ist als der des Aequators. In 60 Grad Breite, wo St. Petersburg und Stockholm liegen, ist diese Geschwindig-

keit nur noch halb so gross als am Aequator; aber auch diese Hälfte ist noch gleich der Geschwindigkeit einer abgeschossenen Kanonenkugel.

Wenn nun ein Ring von Luft, der über einem Parallelkreise höherer Breite windstill lagert, das heisst an der Rotation dieses Parallelkreises Theil nimmt, gegen den Aequator gleichmässig in allen seinen Theilen vorgeschoben wird, so kommt er zu Parallelkreisen von grösserem Umfang und von grösserer westöstlicher Geschwindigkeit. Jener Luftring muss sich also selbst erweitern, so dass sein Halbmesser, der Abstand von seiner Rotationsaxe, wächst. Das mechanische Gesetz, welches unter diesen Umständen die Veränderung der Rotationsgeschwindigkeit besagten Luftringes bestimmt, ist das, welches man das Princip von der Erhaltung der Rotationsmomente zu nennen pflegt. Bei der Beschreibung der Planetenbewegungen kommt es vor unter dem Namen des ersten Kepler'schen Gesetzes und wird in der Form ausgesprochen, dass der Radius Vector, die Verbindungslinie eines Planeten mit der Sonne, in gleichen Zeiten gleiche Flächen beschreibt. Oder man kann dies auch in der für die vorliegende Anwendung bequemeren Form aussprechen: Der Theil der Geschwindigkeit eines Planeten, welcher in Richtung einer Kreisbewegung um die Sonne fällt, ist umgekehrt proportional seiner jeweiligen Entfernung von der Sonne.

Dieses selbe Gesetz gilt nun für die Rotationsbewegung aller Körper um irgend welche Axe, wenn die auf sie wirkenden Kräfte nur gegen die Axe hin oder von der Axe weg gerichtet sind. Ein sehr einfaches mechanisches Beispiel kann man dafür gewinnen, wenn man in der Mitte einer Schnur einen schweren Körper, am besten eine durchbohrte Kugel, befestigt und dann die Enden der Schnur mit beiden Händen fassend dieselbe in verticale Lage bringt. Lässt man die Schnur in dieser Lage erschlaffen, so ist es leicht, die Kugel in einem horizontalen Kreise herumschwingen zu machen. Zieht man dann die Schnur straffer an, wodurch die Kugel gegen die verticale Axe ihrer Kreisbahn hingezogen wird, so sieht man dieselbe um so schneller vorwärts eilen, je enger ihre Kreise werden.

Wenden wir dies auf unseren Luftring an, so folgt, dass seine westöstliche Geschwindigkeit, indem er sich dem Aequator nähert und zu Parallelkreisen von grösserer westöstlicher Bewegung vorrückt, im Gegentheil kleiner wird in dem Maasse, als er selbst sich erweitert. Unser Luftring muss also bei seinem

Vorrücken gegen den Aequator in der westöstlichen Bewegung zurückbleiben gegen diejenigen Punkte der Erdoberfläche, zu denen er gelangt, das heisst, diesen als Ostwind erscheinen. Umgekehrt werden die mit der grossen Rotationsgeschwindigkeit des Aequators gegen die Pole hinfliessenden Luftmassen stärkere westöstliche Bewegung haben, als die Parallelkreise, zu denen sie gelangen, das heisst, diesen als Westwinde erscheinen. Uebrigens gleicht sich durch den Einfluss der Widerstände, den jeder solcher Luftring durch Reibung am Erdboden, durch Bäume, Häuser, Gebirge erleidet, die Bewegung der Luft wenigstens in ihren unteren Schichten nach einiger Zeit mit der Bewegung des Bodens unter ihr aus, wodurch die Heftigkeit der östlichen oder westlichen Geschwindigkeit dieser Winde wesentlich gemässigt wird.

Am ungestörtesten erscheinen diese Strömungen über den Meeren der heissen Zone als die sogenannten Passatwinde. Der untere Passat ist der gegen den Aequator hinfliessende Polarstrom; er erscheint auf der nördlichen Hemisphäre als Nordost, auf der südlichen als Südost. Der obere Passat, der aut einzelnen hohen Bergspitzen, wie dem Pic von Teneriffa, dem Mauna-Kea der Sandwichsinseln, beobachtet werden kann und sich auch wohl gelegentlich durch Fortführung vulkanischer Asche bemerklich macht, fliesst in gerade entgegengesetzter Richtung.

Da Westwinde schneller als der unter ihnen liegende Parallelkreis rotiren, Ostwinde langsamer, so haben erstere grössere Centrifugalkraft und drängen deshalb mehr gegen den Aequator hin als letztere. Die Luft der Passatwinde muss deshalb ihre Bewegung mit der des Erdbodens fast ganz ausgeglichen haben, das heisst für den auf der Erde stehenden Beobachter windstill geworden sein, ehe sie aufsteigen, die Centrifugalkraft der oben herrschenden Westwinde überwinden und deren Luftmassen weiter gegen den Pol zurückdrängen kann. So entsteht in der Nähe des Aequators die Zone der Windstillen oder Calmen zwischen den beiden Gürteln der Passatwinde.

Umgekehrt steigert sich, wie schon vorher bemerkt wurde, die Rotationsbewegung der oberen Westwinde, zu je engeren Parallelkreisen sie zurückgedrängt werden, und damit auch ihre Centrifugalkraft. Am Pole selbst würden beide unendlich gross werden, wenn nicht schon vorher durch Reibung und Einwirkung von Widerständen ihre Bewegung geschwächt wäre. Nun haben die neueren Untersuchungen über die Grösse der Luftreibung er-

geben, dass im Innern so ausgedehnter Luftmassen, wie derjenigen, mit denen wir hier zu thun haben, die Geschwindigkeitsabnahme durch Reibung verschieden bewegter Luftschichten gegen einander eine äusserst langsame ist. Nur an den Widerständen des Bodens findet schnelle Abnahme der Geschwindigkeit statt. Jedermann weiss, wie gewaltig ein Sturm über die freie Fläche des Meeres und über ausgedehnte Ebenen dahinsaust, welche Stärke er auf Thürmen und vereinzelten Bergspitzen haben kann, während er gleichzeitig in den Strassen der Städte, in Wäldern und zwischen Hügeln ziemlich erträglich ist.

Da demnach unsere zunächst in die oberen Schichten der Atmosphäre aufgestiegenen Westwinde dort ihre äquatoriale Geschwindigkeit und die sie vor höheren Breiten zurückstauende Centrifugalkraft nicht verlieren können, andererseits immer neue aufsteigende Luftmassen schneller Rotation vom Aequator her nachdrängen, so wird die durch Abkühlung allmählich wieder schwerer werdende Luft dieser Westwinde in mittleren Breiten die Atmosphäre endlich bis zum Boden füllen und hier zwei Gürtel überwiegender Westwinde bilden müssen. Zwischen diesen Gürteln und dem Aequator bleiben die Zonen der Passatwinde. Die Grenzen zwischen diesen Zonen schwanken mit dem Stande der Sonne. Im Sommer machen sich die Passate selbst in Südeuropa geltend, als die schon genannten Etesien Griechenlands. Im Winter weichen sie zurück bis zu den Canarischen Inseln. Wir dagegen liegen in der Zone des herabgekommenen Aequatorialstroms, der Westwinde, welche am Boden zunächst als Südweste erscheinen; hier können sie sich ihre Geschwindigkeit ablaufen und in Folge dessen allmählich gegen den Pol hin weichen.

Aber die Zone der Westwinde wird häufig durchbrochen durch Ströme kalter Luft, die vom Pole kommen. Da, wie bemerkt, die unteren Schichten der Westwinde allmählich die Luftmasse des Poles vermehren, die oberen dagegen von der des Aequators zehren, so drängt von Zeit zu Zeit und an einzelnen Stellen des Ringumfangs die angewachsene und durch andauernde Abkühlung schwer gewordene Luftmasse der kalten Zone die Schicht der Westwinde in die Höhe, streicht als kühler und trockener Nordost über die gemässigte Zone und ergänzt wieder den Luftvorrath der Passatwinde. Dass der ewige Wechsel unserer Witterungsverhältnisse auf dem gegenseitigen Verdrängen kühler, trockener Polarwinde und warmer, feuchter Aequatorialwinde be-

ruht, hat besonders Dove in alle Einzelheiten hinein verfolgt und nachgewiesen. Welche mechanischen Verhältnisse nach meinem Erachten dieses Verdrängen bewirken, habe ich im Vorstehenden auseinanderzusetzen gesucht.

Dieses System der Winde erleidet mannigfache örtliche Störungen durch Gebirge, welche sich der Strömung widersetzen, sowie durch die abweichenden Temperaturen von Land und Meer. Im Sommer ist das Land wärmer und bedingt aufsteigende, im Winter ist es kälter und bedingt absteigende Ströme, wodurch das oben beschriebene Hauptwindsystem mannigfach verschoben und unterbrochen wird.

Wir haben endlich die Circulation des Wassers durch die Atmosphäre zu erwähnen. Wärmere Luft kann mehr Wasserdünste in sich aufnehmen als kalte. Unter Wasserdünsten ist hier immer rein gasförmiges Wasser zu verstehen, welches vollkommen durchsichtig ist wie Luft. Erst dann, wenn dunsthaltige Luft gekühlt wird, scheidet sich der Dunst als Nebel aus, das heisst, als staubartig vertheiltes, tropfbar flüssiges Wasser. Hoch in der Atmosphäre schwebende Nebelmassen sehen wir als Wolken. Eine solche Abkühlung, welche den Wasserdunst als Nebel niederschlägt, tritt unter Anderem ein, wenn dunsthaltige Luft, unter geringeren Druck versetzt, sich stark ausdehnt, weil alle Gase bei der Ausdehnung sich kühlen. Ist der Nebel reichlich, so treten die feinen Theilchen des schwebenden Wasserstaubes in grössere, schnell fallende Tropfen zusammen, als Regen. Dies geschieht zum Beispiel in der Luft, welche über der Calmenzone der tropischen Meere lagert, wenn sie, mit Wärme und Wasserdunst gesättigt, zuerst aufsteigt, um ihren Weg als oberer Passat nach den Polen zurück anzutreten. Dann erfolgen die schon oben erwähnten tropischen Regen, welche gerade in den Jahreszeiten höchsten Sonnenstandes einzutreten pflegen.

Es ist anzunehmen, dass die von dem Gewichte des niedergeschlagenen Regens befreite Luft zunächst schnell aufsteigt, durch die erlangte Geschwindigkeit hoch über ihre Gleichgewichtslage hinausgeführt wird und sich dabei vorübergehend so stark dehnt und kühlt, dass sie sehr viel von ihrem Wasser verliert. Nun kann sie einen langen Weg als oberer Passat zurücklegen, ehe sie bei der weiteren Abkühlung, die sie durch Strahlung gegen den Weltraum hin und durch die Berührung mit kühleren Landstrichen erleidet, zu neuen Niederschlägen veranlasst wird.

Diese erfolgen endlich an der Grenze der Passatzone, als die sogenannten subtropischen Regen. In unserem Winter fallen sie auf Südeuropa, ziehen dann im Frühsommer über Deutschland nordwärts und kehren im Herbst zurück. In unseren Breiten sind es deshalb der Regel nach die westlichen Winde, das heisst die herabgestiegenen Aequatorialströme, welche den Regen bringen.

Dies ist in kurzen Zügen das grosse System der regelmässigen Circulation von Luft und Wasser in der Erdatmosphäre, beständig unterhalten durch die beständige Temperaturdifferenz zwischen der heissen und kalten Zone. Es giebt, wie ich schon angeführt habe, breite Striche der Erdoberfläche, wo die Regelmässigkeit dieser Vorgänge kaum gestört wird; desto auffallender ist die Heftigkeit oder Häufigkeit solcher Störungen an anderen Stellen. Am lehrreichsten und verständlichsten sind diese Störungen, wenn sie in der heissen Zone gelegentlich den meist überaus regelmässigen Verlauf der meteorologischen Vorgänge unterbrechen. Hier ist der ganze Mechanismus ihrer Entstehung und das Spiel der Kräfte, welche während ihrer Dauer entfesselt werden, verhältnissmässig durchsichtig, weil kein allzu verwickeltes System störender Ursachen in einander greift, wie es in kühleren Zonen gewöhnlich der Fall ist.

Diese die Regelmässigkeit der tropischen Witterung unterbrechenden Luftbewegungen sind die Orkane oder Wirbelstürme. Es sind Stürme von furchtbarer Gewalt, die vorzugsweise an gewissen Stellen der tropischen Meere auszubrechen pflegen. Diejenigen, welche schliesslich auch Europa heimsuchen, haben ihren Ursprung im tropischen Theile des Atlantischen Meeres, meist nahe bei den Antillen; aber auch der Indische und Chinesische Ocean sind übel berüchtigt wegen ihrer Orkane. Es ist nicht das geringste von Dove's grossen Verdiensten um die Meteorologie, dass er die Wirbelform dieser Stürme herausgefunden hat bei Gelegenheit eines Orkanes, der Weihnachten 1821 über Europa zog; seine 1828 veröffentlichte Ansicht wurde demnächst durch die Untersuchungen von Redfield (1831) und Reid (1838) über die westindischen Wirbelstürme bestätigt; jetzt ist dieses Verhältniss allgemein anerkannt.

Im Centrum eines solches Wirbels findet sich in der Regel ein Raum mit geringer Luftbewegung, oder selbst Windstille; letztere tritt wahrscheinlich im Anfange ein, während bei weiterer Fortpflanzung des Sturmes auch die ruhende Mitte allmählich in

die Bewegung hineingezogen wird. Das Centrum hat bei den grösseren Orkanen drei bis sieben geographische Meilen Durchmesser und zeichnet sich durch einen ganz auffallend niedrigen Barometerstand aus; zuweilen beträgt die Differenz $1^1/_2$ bis $2^3/_4$ Zoll im Vergleich zur Peripherie des Sturmes. Es ist ein Zeichen dafür, dass die Luftmasse im Innern des Wirbels erheblich vermindert, gleichsam weggesogen ist.

Rings um das windstille Centrum und dasselbe umkreisend herrscht dagegen der heftigste Sturm. Der Durchmesser dieser Sturmkreise beträgt zuweilen bis zu 250 geographische Meilen, und selbst derjenige Theil des Orkanes, in welchem der Wind so heftig ist, dass die Schiffer alle Segel einziehen müssen, kann bis zu 100 Meilen Durchmesser haben. Die Richtung der Drehung ist bei den grösseren Wirbelstürmen ganz gesetzmässig. Sie umkreisen auf der nördlichen Hemisphäre ihr Centrum in der Richtung von Nord nach West, Süd, Ost und zurück nach Nord. Auf der südlichen Hemisphäre dagegen laufen sie in gerade entgegengesetzter Richtung. Oder anders gesagt: der Sturm hat dieselbe Richtung der Rotation, wie der Erdboden derjenigen Hemisphäre, auf der er abläuft. Die dem Aequator zugekehrte Seite der Stürme zeigt immer Westwind. Die Richtung des Windes ist aber nicht rein kreisförmig, sondern unten etwas gegen das Centrum nach innen ziehend, während in der Höhe eigenthümlich zerrissene Wolken einen oberen vom Centrum nach aussen gehenden Strom anzeigen.

Die Wuth, welche diese Stürme nahe ihrem Ursprungsorte in den tropischen Meeren entwickeln, spottet aller Beschreibung; uns in Europa fehlt jede Anschauung von etwas Aehnlichem. Ein Ort der Antillen, gegen welchen das Centrum heranzieht, sieht anfangs im Süden eine Unheil verkündende Wolkenbank sich bilden, immer dunkler werden und immer höher steigen; dann beginnt ein östlicher Wind mit steigender Stärke, die Wolken senken sich immer tiefer und entladen sich in mächtigen Regengüssen mit zahllosen flammenden Blitzen. Der Ostwind steigert sich allmählich im Verlaufe der nächsten Stunden zu furchtbarer Höhe. Wenn dann das windstille Centrum mit seiner schwülen Luft und dunklen Wolkendecke herangekommen ist, tritt eine Pause ein. Die Bewohner Westindiens wissen aber schon, dass diese Ruhe nur trügerisch und von kurzer Dauer ist. Bald darauf zieht die andere Seite des Wirbels heran; plötzlich bricht ein gewaltiger Weststurm los, der wiederum

einige Stunden, zuletzt sich allmählich abschwächend, dauert. Endlich strahlt die Sonne wieder vom blauen Himmel auf den Schauplatz der Verwüstung hernieder.

Die Verheerungen, welche ein solcher Sturm anrichtet, sein Geheul, seine mechanische Gewalt sind furchtbar. Namentlich wird die Vegetation so zerstört, „als wäre Feuer durch das Land gegangen, welches Alles versengt und verbrannt hätte“. Die meisten Bäume werden umgerissen, was stehen bleibt, vollständig des Laubes beraubt. Häuser werden abgedeckt, umgestürzt. Auf St. Thomas wurde 1837 ein neugebautes Haus von seinen Fundamenten weggerissen und in die Strasse gesetzt; die 24pfündigen Kanonen des Hafenforts von den Wällen geworfen. Ein englischer Officier, der 1831 auf Barbados unter einem Fensterbogen des Erdgeschosses Sicherheit gesucht hatte, hörte vor dem Brausen des Sturmes nicht, dass hinter ihm das Haus einfiel. Grausam leiden natürlich auch die Schiffe; selbst die in den Häfen geankerten werden oft zerschellt oder sinken in den Grund. Die auf offener See befindlichen müssen streben, dem Innern des Wirbels auszuweichen; wenn aber der Sturm so heftig wird, dass sie ihm keine Segel mehr aussetzen dürfen, um ihre Richtung zu wählen, bleibt ihnen nichts übrig, als sich dem Winde zu überlassen. Piddington beschrieb den Weg einer englischen Brigg Charles Heddie, welche im Indischen Meere fünf Tage vom Sturme fortgetrieben, fünf Mal das Centrum des Wirbels in sich verengernden Spiralen umkreist hat. Besonders verheerend ist auch die durch den Sturm verursachte Hebung des Seewassers, welches bald in Form schnell hereinbrechender Ueberfluthungen des Landes auftritt, bald als Spritzschaum meilenweit in das Land hineingeführt wird und Pflanzen wie Fische sterben macht.

Leider zählen bei einem solchen Sturme die Opfer an Menschenleben oft genug nach Tausenden, theils zur See, theils zu Land, die von stürzenden Häusern und Bäumen erschlagen oder durch die Sturmfluthen weggerissen werden.

Diese mächtigen Luftwirbel bleiben nun nicht an der Stelle stehen, wo sie entstanden sind, sondern bewegen sich in ziemlich regelmässiger Weise vorwärts. Ihr Ursprung scheint immer in 10 bis 20 Grad Breite, also dem Aequator und der Zone der Calmen ziemlich nahe zu liegen. Dann entfernen sie sich aber vom Aequator, und zwar anfangs die Richtung der Passate quer durchschneidend, die nördlichen also nach Nordwest, die südlichen

nach Südwest ziehend. Wenn sie an der Grenze der Passate angekommen sind, nehmen sie dagegen eine mehr östliche Richtung. Die des Nordatlantischen Meeres zum Beispiel folgen auf ihrem Wege zunächst der Richtung der westindischen Inselreihe bis in die Gegend von Florida, wobei sie etwa vier bis fünf geographische Meilen in der Stunde durchlaufen, dann ziehen sie der Küste der Vereinigten Staaten nahezu parallel dahin, entfernen sich aber gegen Norden allmählich von dieser, um sich quer über den Atlantischen Ocean gegen das nördliche Europa hin zu wenden, wobei sie mit einer Geschwindigkeit von sechs bis acht Meilen in der Stunde fortschreiten. Sie brauchen im Mittel etwa zehn bis zwölf Tage für eine solche Reise von Westindien nach Europa. Während dieser Zeit stumpft sich ihre Gewalt allmählich ab, das Centrum wird mit in die Wirbelbewegung hineingerissen, der Durchmesser des ganzen Wirbels vergrössert sich. Immerhin sind sie auch in den europäischen Meeren den Schiffen noch gefährlich genug, und gelegentlich reissen sie auch noch Bäume um und decken Häuser ab. Aber gerade in Bezug auf die Gefahren dieser Art, denen die Schiffe längs der europäischen Küsten ausgesetzt sind, lässt sich am ersten hoffen, dass ein regelmässiges System meteorologischer Telegraphie im Stande sein wird, rechtzeitig Warnungen vor heranziehenden Wirbelstürmen zu geben.

Ich gehe nicht tiefer in die Beschreibung der einzelnen Erscheinungen ein, da uns für unseren besondern Zweck nur die regelmässig wiederkehrenden Theile des ganzen Vorganges interessiren. Eine sehr anschauliche und bis in die neuesten Zeiten fortgesetzte Uebersicht derselben hat Herr Th. Reye, Professor in Strassburg, in seinem 1872 erschienenen Buche über „die Wirbelstürme, Tornados und Wettersäulen“ gegeben.

Wir wenden uns nun zu der Frage, wie es möglich sei, dass die schwachen, durch Temperaturschwankungen hervorgerufenen Druckunterschiede in der Atmosphäre, die sich gewöhnlich nur durch unbedeutende Unterschiede des Barometerstandes verrathen, so furchtbare Entladungen und so gewaltige Bewegungen hervorrufen können. Gerade für die Beantwortung dieser Frage ist, wie mir scheint, durch die genannte Arbeit von Reye ein beträchtlicher Fortschritt gemacht worden, der uns überhaupt einen Blick in die schwankende Natur der Witterungserscheinungen thun lässt.

Es kommt dabei wesentlich an auf den Begriff des labilen

Gleichgewichtes. Wenn wir einen Stab am oberen Ende fassen und herabhängen lassen, so zieht die Schwere seinen Schwerpunkt möglichst tief nach abwärts; der hängende Stab richtet sich vertical nach unten und ist in dieser Lage in stabilem Gleichgewichte. Stossen wir ihn an oder ziehen wir ihn zur Seite, so kehrt er immer wieder in die frühere verticale Lage zurück; das ist das Charakteristische des stabilen Gleichgewichtes. Versuchen wir umgekehrt, denselben Stab auf seine untere Spitze zu stellen, so dass sein Schwerpunkt genau lothrecht oberhalb des Unterstützungspunktes steht, so sollte eine Lage möglich sein, in der ihn die Schwere genau so viel nach rechts wie nach links, auf den Beobachter zu wie von ihm weg zieht, wobei der Stab keinen zureichenden Grund hätte, nach irgend einer Seite zu fallen. Aber wenn es gelänge, für einen Moment einen solchen Zustand herzustellen, den die Mechanik als labiles Gleichgewicht bezeichnet, so würde der leiseste Lufthauch, die kleinste Erschütterung des Unterstützungspunktes genügen, um ein Uebergewicht nach irgend einer Seite hin zu erzeugen. Sowie aber der Stab nur um ein Minimum nach einer Seite hin abweicht, zieht ihn die Schwere mit steigender Geschwindigkeit ganz nach dieser Seite herab. Die praktische Bewährung des Satzes vom zureichenden Grunde gelingt hier ebenso wenig wie bei Buridan's Esel zwischen zwei Krippen. Das Charakteristische bei diesem Vorgange ist, dass die allerkleinste Kraft oder Bewegung den Stab veranlassen kann, sich nach einer oder der anderen Seite zu wenden, und dass dann die ganze Gewalt seines Falles schliesslich diejenigen Gegenstände trifft, welche in dieser Richtung liegen.

Beide Arten des Gleichgewichtes können auch stattfinden, wenn Flüssigkeiten von verschiedener Dichte in einem Gefäss über einander gegossen werden. Oel über Wasser befindet sich in stabilem Gleichgewicht; die Grenzfläche zwischen beiden stellt sich horizontal. Sollte etwas Wasser durch irgend eine Störung in das Oel hinaufgetrieben werden, so würde das schwerere Wasser in dem leichteren Oel doch sogleich wieder zurücksinken, während andererseits abwärts getriebenes Oel wieder steigen müsste. Aber auch Wasser über Oel mit vollkommen horizontaler Grenzfläche würde labiles Gleichgewicht geben können, da die Grenzfläche vollkommen gleichen Druck in jedem Punkte haben würde und deshalb in keinem eher als in jedem andern zu weichen brauchte. Sowie aber an einer Stelle das

Oel sich etwas höbe, an der anderen das Wasser sich senkte, so müsste das leichtere Oel ganz hinaufsteigen, das schwerere Wasser ganz hinunterfallen.

Luft, die eine grössere Wärmemenge enthält, verhält sich nun zu Luft mit geringerer Wärmemenge, wie Oel zum Wasser. Wo beide unter gleichem Druck neben einander liegen, ist die wärmere die leichtere und steigt nach oben. Uebrigens ist zu bemerken, dass, wenn beide mit einander aufsteigen, beide sich ausdehnen und dadurch abkühlen; doch bleibt dabei die, welche mehr Wärme enthält, immer die wärmere und leichtere. Stabiles Gleichgewicht ist also nur möglich, wenn die an Wärme reichere Luft oben liegt, die weniger reiche unten. Ich darf nicht sagen: „wenn die wärmere oben, die kühlere unten liegt“; denn in der That kann die an Wärme reichere Luft, die in der Höhe sich dehnt und abkühlt, niedrigere Temperatur haben, als die unter ihr liegende, an Wärme ärmere Luft von grösserer Dichtigkeit. Erst wenn beide in derselben Höhe neben einander lägen und demselben Drucke ausgesetzt wären, würde der Unterschied ihrer Temperatur ihrem verschiedenen Wärmegehalte entsprechen. Nun wird aber die Luft hauptsächlich unten am Boden, der die wärmenden Sonnenstrahlen absorbirt, gewärmt, und dadurch könnte labiles Gleichgewicht entstehen. Da aber diese Erwärmung lange Zeit braucht, und ein labiles Gleichgewicht nur für Augenblicke entstehen kann, so kommt es in diesem Falle immer schnell zur Ausgleichung, indem die wärmere Luft aufsteigt. Die zitternde Bewegung der Luft indessen, die man über stark erhitzten Bodenflächen sieht, ist ein Ausdruck dieser Störungen und der dadurch veranlassten unregelmässigen Luftströme.

So ist es aber nur, so lange die verschiedenen Luftschichten gleichartig zusammengesetzt sind. Kommen dagegen trockene und feuchte Luft zusammen, so ist, wie Reye nachgewiesen hat, die Möglichkeit zur Ansammlung grosser Luftmassen gegeben, die anfangs in stabilem Gleichgewicht sind, sich aber bei langsam eintretenden Temperaturänderungen allmählich dem labilen Gleichgewichte nähern und endlich in dieses übergehen können.

Nach den Berechnungen des genannten Mathematikers, welche auf die neuere mechanische Wärmetheorie, und zwar vorzüglich auf das von Clausius aufgestellte allgemeine Princip derselben gegründet sind, ist neblige Luft nachgiebiger gegen

Druckveränderungen, als trockene Luft. Jede Gasmasse nämlich, welche auf einen kleineren Raum zusammengedrückt wird, erwärmt sich dabei und widersteht, da die Wärme ihre Spannung vermehrt, dem auf ihr lastenden Drucke stärker, als sie es ohne Temperaturveränderung thun würde. Ein schneller, heftiger Schlag auf einen Stempel, der diese Luft in einem Glas- oder Elfenbeincylinder comprimirt, kann die Luft so heiss machen, dass darin liegender Feuerschwamm sich entzündet. Solche Feuerzeuge finden sich in täglichem Gebrauch bei den Malayen, in physikalischen Sammlungen sind sie unter dem Namen der pneumatischen Feuerzeuge bekannt. Wenn nun Wassertröpfchen als Nebel in der gepressten Luft schweben, so wird ein Theil der durch die Compression erzeugten Wärme verbraucht, um einen Theil dieses Wassers auch noch in Dampf zu verwandeln, da in der wärmeren Luft trotz ihres geringeren Volumens mehr Wasserdampf bestehen kann als vorher. Nun ergeben Rechnungen von Reye, dass die Volumenzunahme, welche durch die Neubildung von Dampf aus Wasser bedingt wird, kleiner ist als die Volumenabnahme, die davon herrührt, dass ein Theil der durch die Compression erzeugten Wärme der Luft verloren geht, indem er zur Verwandlung des Wassers in Dampf verwendet wird. Solche neblige Luft wird also bei der Compression nicht ganz so warm als trockene, so dass jene einer gegebenen Zunahme des Druckes mehr nachgiebt als diese.

Umgekehrt, wenn neblige Luft sich dehnt, so kühlt sie sich ab, wie alle sich ausdehnenden Gasmassen. Aber die Abkühlung ist nicht so stark wie bei trockener Luft, weil durch die Kühlung ein Theil des in ihr enthaltenen Wasserdampfes niedergeschlagen wird, und sich als Staub tropfbaren Wassers dem Nebel zugesellt. Dämpfe aber, die sich in Wasser zurückverwandeln, geben die Wärme wieder ab, die vorher zu ihrer Bildung aus Wasser verwendet worden ist, und die neblige Luft wird deshalb nicht ganz so kühl bei der Dehnung wie trockenere Luft. Auch hier ist die Volumenabnahme durch die Verdichtung eines Theiles der Dämpfe geringer, als die Volumenzunahme durch die dabei frei gewordene Wärme, so dass im Ganzen neblige Luft unter einer gegebenen Druckverminderung sich stärker dehnt als trockene Luft, vorausgesetzt immer, dass die Luft keine Gelegenheit hat, während dieser Veränderung Wärme von aussen aufzunehmen oder nach aussen abzugeben.

Dadurch kann nun, wenn Massen von trockener und feuchter

Luft über einander oder neben einander gelagert sind, eine zweisinnige Art des Gleichgewichtes entstehen. Neblige Luft und trockene Luft können solche Temperaturen haben (die trockene etwas wärmer), dass sie in der mittleren Höhe der Atmosphäre gerade gleich schwer sind. Dann wird in der unteren Hälfte des Luftkreises, wo der Druck grösser ist, die neblige Luft die dichtere werden und zu Boden sinken. In der oberen Hälfte der Atmosphäre dagegen wird dieselbe neblige Luft bei geringerem Druck sich mehr dehnen als die trockene, leichter werden und aufsteigen.

Als mechanisches Modell für diesen Vorgang kann ein mit Wasser gefüllter Glascylinder von etwa einem halben Meter Höhe dienen, in den man einen flaschenförmigen Glaskolben mit der Mündung nach unten einsetzt, nachdem man seinen Hals mit Bleidraht umwunden und ihn dadurch so schwer gemacht hat, dass er beinahe untersinkt. Legt man oben auf den flachen Boden des Kolbens noch einige Gewichtchen, so kann man es dahin bringen, dass der Kolben in der mittleren Höhe des Cylinders gerade gleich schwer ist, wie das Wasser. Er ist dann an dieser Stelle in labilem Gleichgewicht; sowie er etwas steigt, dehnt sich die in ihm enthaltene Luft, er wird leichter und steigt ganz empor. Wenn er dagegen von jener mittleren Stellung aus etwas sinkt, wird die Luft noch mehr comprimirt und er sinkt ganz unter. In diesem Beispiel gleicht das Wasser, als das weniger comprimirbare, der trockenen Luft, der Kolben voll nachgiebiger Luft gleicht einer darin schwimmenden Masse nebliger Luft.

Nun denke man sich über einem der tropischen Meere an der Grenze der Calmen, wo wenig Bewegung ist, über viele Tausende von Quadratmeilen ausgebreitet eine warme Luftschicht liegend, welche mit Wasserdämpfen nahehin gesättigt ist. Ueber ihr fliesst der obere Passat, der unmittelbar beim Aufsteigen den grösseren Theil der mitaufsteigenden Wasserdünste durch die tropischen Regen niedergeschlagen hat. Diese obere Luft wird also verhältnissmässig trocken und reich an Wärme sein, da sie die beim Niederschlag frei gewordene latente Wärme behalten hat. Nehmen wir an, das Gleichgewicht sei anfangs noch so beschaffen, dass an der Grenze zwischen beiden Luftschichten die feuchte untere die schwerere sei. Dann ist das Gleichgewicht noch stabil, und ein solcher Zustand kann sich also ungestört ausbilden und längere Zeit erhalten. Wenn dies an der Grenze

der Calmen geschieht, wo die Passatwinde die Luft nicht zu schnell forttreiben, so wird die untere Luft durch fortgesetzte Wirkung der Sonne immer heisser und feuchter, also auch immer leichter werden können. Die obere dagegen wird durch Strahlung gegen den Weltraum eher an Wärme verlieren. Das Gleichgewicht wird deshalb sich allmählich dem labilen nähern. Labil wird es geworden sein, sobald bei dem Drucke, der an der Grenzfläche beider Schichten herrscht, die Dichtigkeit und Schwere beider Luftarten gleich gross geworden ist. Denn dann wird jeder Theil der unteren Schicht, der noch etwas aufsteigt, ganz in die Höhe steigen müssen.

Wenn nun an irgend einer Stelle das Gleichgewicht durchbrochen wird und feuchte Luft unter Bildung von Nebel und Niederschlag von Regen aufsteigt, so bekommt diese Stelle geringeren Druck, weil die mit der aufsteigenden nebligen Luft sich füllenden oberen Schichten leichter werden, als sie vorher waren, und als es die der Nachbarschaft, soweit ringsum oben noch trockene Luft lagert, zur Zeit noch sind. Nach der Stelle, wo der Druck geringer geworden ist, wird von allen Seiten die untere Luft heranströmen müssen, um dann ihrerseits ebenfalls in die aufsteigende Strömung hineingerissen zu werden, während ringsum, wo das Gleichgewicht noch stabil war, dieses durch die Entleerung der feuchten Luft und die Senkung der oberen Grenzfläche derselben in seiner Stabilität noch sicherer wird, hier also keine neue Durchbrechung mehr zu erfolgen braucht. Die aufsteigende und sich stark ausdehnende Luft wird sich in den oberen Gegenden der Atmosphäre ausbreiten, also in der Höhe vom Centrum der Durchbrechung wegfliessen, wie es auch an den von ihr gebildeten Wolken beobachtet wird. Der ganze Vorgang kann erst dann zum Stillstand und zu einem neuen Gleichgewicht führen, wenn die obere trockene Luft sich soweit gesenkt hat, dass der im Centrum des Wirbels liegende Canal voll feuchter Luft, der die unteren und aufgestiegenen hohen Schichten feuchter Luft verbindet, durchschnittlich Luft von derselben Schwere enthält, wie die trockeneren Schichten, die er durchbricht. Das wird bei einem gewissen Grade der Senkung eintreten können, weil die feuchte Luft in der Tiefe dichter ist als die trockene, wenigstens wenn sie ihr Wasser nicht als Regen verliert. Da in der Regel aber das Gewicht der feuchten aufsteigenden Luft erheblich vermindert wird, indem der Wassernebel in ihr sich hinreichend verdichtet, um als

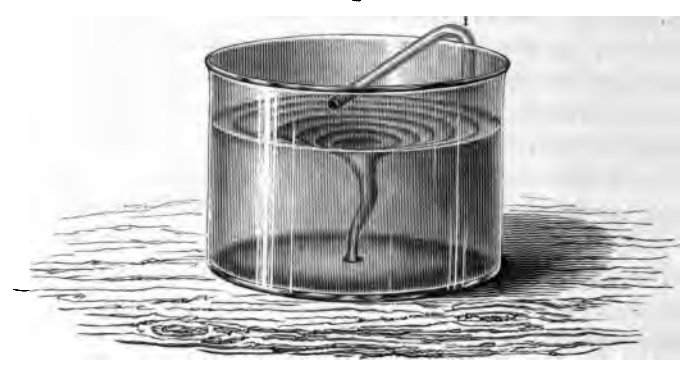
Regen herab zu fallen, so wird das Aufsteigen wohl meistens keine Grenze finden, ehe nicht die ganze untere feuchte Schicht sich gehoben hat.

Die Luftmasse, die in den unteren Theilen der Atmosphäre gegen die Durchbruchsstelle herangezogen wird, muss, wenn sie ausgedehnt genug war, einen merklichen Einfluss der Erdrotation zeigen. Denken wir uns einen Luftring von 120 geographischen Meilen Halbmesser, dessen Mittelpunkt mit der Durchbruchsstelle zusammenfällt und der, allmählich enger werdend, gegen diese Stelle herangesogen wird. Sein Centrum liege in der Breite von 15°, einer Gegend, auf welche die meisten Beobachtungen als die ungefähre Ursprungsstelle der Wirbelstürme hinweisen. Dann würde sein südlicher Rand in 7° Breite liegen, der nördliche in 23°. Nun ist aber die ostwestliche Bewegung der Erde in 7° Breite nahezu 460 Meter und in 23° Breite 426 Meter in der Secunde. Ein solcher Luftring, in windstiller Luft liegend, würde also an seiner Südseite um 34 Meter grössere Geschwindigkeit in westlicher Bewegung haben als an der Nordseite, und der Unterschied berechnet sich noch grösser, wenn wir berücksichtigen, dass die Südseite in oder nahe der Zone der Calmen liegt, die Nordseite in den östlich gerichteten Passaten. Diesen Anfangszustand des Luftringes können wir auch so ansehen, als wenn dieser im Ganzen mit der mittleren Geschwindigkeit (443 Meter) seines Centrums fortschritte, aber mit einer Geschwindigkeit von 17 Metern in der Secunde um dasselbe rotirte im Sinne der Erdrotation. Das heisst, ein solcher Luftring hat in seiner Bewegung einen gewissen Antheil (eine Componente nach mathematischer Sprachweise) von Rotation, der von der Erdrotation herrührt, aber allerdings bei so grosser Nähe des Aequators nur klein ist.

Zieht sich der Luftring nun aber zusammen, so muss in ähnlicher Weise, wie ich es oben schon für die vom Aequator zum Pole hinfliessenden und sich dabei verengernden Wirbelringe angegeben habe, das Rotationsmoment dieser Bewegung constant bleiben, das heisst ihre Geschwindigkeit wachsen in dem Maasse, als sich der Halbmesser des Kreises verkleinert. Die Rechnung ergiebt, dass ein Luftring von anfänglich 100 geographischen Meilen Halbmesser, dessen Centrum in 15° Breite liegt, eine Geschwindigkeit von $278^1/_2$ Meter in der Secunde gewinnen wird, wenn er bis auf fünf Meilen Halbmesser zusammengezogen ist. Das wäre eine Geschwindigkeit, wie Kanonenkugeln sie haben.

Den Vorgang der Bildung von Wirbelstürmen kann man nach gewissen Beziehungen hin sehr gut in kleinerem Maassstabe im Wasser nachahmen. Man nehme ein kreisrundes Gefäss, wie das der nebenstehenden Figur, welches eine Oeffnung im Boden hat, die zuerst durch einen Kork geschlossen wird. Durch Rühren mit der Hand setze man das Wasser in langsam rotirende Bewegung und ziehe den Kork aus. Nun beginnt das Wasser der Mitte auszufliessen, es wird durch neues ersetzt, welches von der Peripherie her sich dem Centrum nähert und dessen Rotationsbewegung in dem Maasse, als dies geschieht, zunimmt. Nahe der Mitte wird die Centrifugalkraft dieser heftig rotirenden Ringe so gross, dass der Wasserdruck nicht mehr im Stande ist, eine weitere Verengerung derselben zu bewirken. Dann bildet sich

Fig. 18.



durch die Wassermasse, wie es Fig. 18 zeigt, eine senkrechte mit Luft gefüllte Röhre, die bis zur unteren Oeffnung hinabreicht, nach oben hin sich trichterförmig erweitert, und gewöhnlich schraubenförmig an ihrer Wand gestreift ist. Diese Röhre hat genau die Form, in der man die Wasserhosen abzubilden pflegt. Wirft man einen Kork in die Röhre hinein, der einerseits weiss, andererseits schwarz bemalt ist, so wirbelt er so schnell herum, dass die beiden Farben sich zu gleichmässigem Grau vermischen. Man kann den Wirbel beliebig lange unterhalten, wenn man das abfliessende Wasser durch eine kleine Pumpe wieder hebt und in tangentialer Richtung längs der Gefässwand wieder in das obere Gefäss hineintreibt, so dass es bei seinem Eintritt sich der Richtung der Wirbelbewegung gleich wieder einfügt. Dazu dient die in der Figur angegebene Röhre *t*.

Auch hier im Wasser können wir also den Uebergang aus einer ursprünglichen langsamen Wirbelbewegung in eine ausserordentlich schnelle beobachten. Sobald der Wirbel sich ausgebildet hat, fliesst das Wasser nur noch langsam aus, weil der grösste Theil der Ausflussöffnung von der Luftröhre eingenommen wird. Hauptsächlich ist es das Wasser vom Boden des Gefässes, welches ausfliesst, nachdem es durch Reibung am Glase seine Geschwindigkeit verloren hat. Streut man in das Wasser Sand, der zu Boden sinkt, so wird dieser schnell in Spirallinien gegen die Oeffnung gezogen und hinausgespült, während Stückchen von Oblaten, die im Wasser schweben bleiben, Viertelstunden lang herumgewirbelt werden können, ohne sich der Oeffnung zu nähern. Dieselbe Spiralbewegung gegen das Centrum hin haben die Wirbelstürme am Erdboden. Auch in diesen dürfen wir annehmen, dass es hauptsächlich die mächtige Centrifugalkraft ist, die das Aufsteigen der warmen Luft verzögert. Erst wenn die gewaltige Rotationsbewegung durch Reibung am Erdboden sich vermindert, wird die Luft in die Höhe steigen können, oben weiter wirbelnd, dann aber ihre Kreise mit Nachlass der Rotation allmählich ausbreitend, in dem Maasse, als neue Luft nachfolgt.

Ist ein solcher Wirbel einmal ausgebildet, so kann er in Luft wie in Wasser lange fortbestehen, auch wenn die Ursachen aufhören zu wirken, die ihn hervorgebracht haben; die Bewegung der Luftmassen in ihren kreisförmigen Bahnen wird durch das Beharrungsvermögen, welches jeder schweren Masse zukommt, unterhalten. Sie erlischt erst allmählich durch den Einfluss der Reibung. Ueber die Bewegungsgesetze solcher Wirbel habe ich selbst theoretische Untersuchungen im Jahre 1858 angestellt, deren Resultate sich in einigen einfacheren Fällen durch den Versuch bestätigen liessen. Dieselben sind auch auf die Fortbewegung der grossen atmosphärischen Wirbel anwendbar. In der Zone der Passate werden die Rotationsaxen der Wirbel schief gestellt, da ihr unteres Ende durch den oberen Passat gegen Südwesten, das obere durch den oberen nach Nordosten gedrängt wird. Ein schief gestellter Wirbel aber muss sich fortbewegen in der Richtung, in welcher die Luft durch den spitzen Winkel strömt, den er mit dem Boden macht, das heisst in der nördlichen Passatzone nach Nordwest hin. An der Grenze der Passate kommt dann der Wirbel in das Bereich der überwiegenden südwestlichen und westlichen Winde und folgt diesen zunächst nach

Nordost, dann immer mehr nach Ost umbiegend. Gleichzeitig verliert er durch die Reibung am Boden allmählich an Intensität, sobald er in Gegenden kommt, wo der Gegensatz zweier verschiedener Luftschichten nicht mehr so deutlich und regelmässig ist, wie in der Passatzone.

Oft noch recht verderblich, wenn auch kleiner im Umfang als die Wirbelstürme der Meere sind die der Festländer, wie die Tornados von Nordamerika und unsere Wind- und Wasserhosen. Aber auch unsere Gewitter scheinen wesentliche Züge ihrer Erscheinungsweise dem labil werdenden Gleichgewichte verschiedener Luftschichten zu verdanken.

Ich habe schon vorher angeführt, dass wir hier im mittleren Europa in einer Zone leben, wo äquatoriale und polare Ströme sich abwechselnd verdrängen. Die ersteren führen Luft herbei, welche zwar durch die tropischen Regen einen Theil ihrer Feuchtigkeit verloren hat, aber deren noch so viel enthält, dass sie nach der Abkühlung, die sie auf dem Wege bis zur gemässigten Zone erleidet, zu neuen Niederschlägen bereit ist. Ihr Feuchtigkeitsgehalt bei hoher Sommerwärme giebt sich uns durch das Gefühl der Schwüle kund, welches sie erregt, im Gegensatz zu der trocken heissen Luft der sommerlichen Ostwinde. In trocken warmer Luft kann sich unser Körper noch durch Verdunstung kühlen, in feuchter nicht. In einem Raume, dessen Luft wenige Grade über 42° C. erwärmt und mit Feuchtigkeit gesättigt ist, sterben warmblütige Thiere nach einiger Zeit, weil ihr Körper, keine Abkühlungsmittel findend und fortdauernd innere Wärme durch den Stoffwechsel entwickelnd, sich bis über die genannte Temperatur erwärmen muss. Jene schwüle Beschaffenheit der Luft ist es, die uns Gewitter erwarten lässt.

Eine Zeit lang stauen sich die beiden gegen einander drängenden Ströme, es wird windstill. Wenn dann endlich der vordrängende Polarstrom an einer Stelle das Uebergewicht erlangt, dass die feuchtwarme Luft des Weststromes anfängt, in die Höhe gedrängt zu werden, so verliert sie schnell ihre ganze Widerstandsfähigkeit, weil der entweichende Theil in den höheren Regionen des Luftmeeres sich dehnt und abkühlt, in Folge davon sein Wasser ausscheidet und meist sogleich als Regen fallen lässt. Hierdurch wird, wie bei den Wirbelstürmen, die emporgestiegene Luft verhältnissmässig leichter; zu der Stelle, die so von einem Theile ihres Druckes befreit ist, drängen sogleich die anderen feuchtwarmen Massen nach, um ihrerseits denselben Prozess

durchzumachen. Die aufsteigenden Luftströme, welche in der Höhe grosse Massen von Feuchtigkeit niederschlagen, bilden die schnell sich ballenden und hochaufthürmenden Gewitterwolken. Anfänglich vorhandene schwache Seitenbewegungen der angesogenen Luftmasse verstärken sich hierbei gewöhnlich zu kräftigen Wirbelwinden, die sowohl dem ersten Beginn des Regens, wie auch seinen nachfolgenden Exacerbationen unmittelbar vorausgehen, aber weniger regelmässige Drehung und Fortschreitung haben, als die grossen Wirbel der Tropen. Das Gewitter zieht ab, wenn es dem Oststrom gelungen ist, den vorher herrschenden schwülen West zu verdrängen, denn das Gewitter ist nichts Anderes als der Prozess dieser Verdrängung; die von Reye nachgewiesenen Eigenthümlichkeiten des Gleichgewichtes zwischen trockener und feuchter Luft bewirken auch in diesem Falle, dass jene Verdrängung, sowie nur der erste Anfang gegeben ist, plötzlich in ganzer Ausdehnung eintritt.

Was die elektrischen Entladungen betrifft, so ist deren Quelle wahrscheinlich ein Vorrath negativer Elektricität, mit dem die Erde dauernd geladen ist. Die Gasarten — sogar reiner, nicht nebliger Wasserdampf — isoliren und können direct mit der Erde keine Elektricität austauschen. Selbst wenn die mit negativer Elektricität beladene Oberfläche des Wassers Dämpfe entwickelt, nehmen diese die Elektricität, welche sie als Wasser enthielten, nicht mit sich fort[1]). Erst, wenn die Wassermassen der Wolken zu herabstürzendem Regen vereinigt einander so nahe kommen, dass Funkenentladung von Tropfen zu Tropfen möglich wird, bilden sie einen gewaltigen Conductor, in den nun auch aus dem Erdboden mächtige Funken, die Blitze, überschlagen können. Blitze sind in der Regel die Zeichen eines in dem Augenblicke erfolgenden neuen heftigen Niederschlags; aber die Regenmasse, aus der sie sich entladen, braucht mehr Zeit, um zur Erde zu kommen, als der elektrische Strahl. Erst einige Secunden nach dem Blitz bemerken wir deshalb den verstärkten Regen, der ihn hervorgebracht hat. Die Zeitfolge, in der die Veränderungen uns wahrnehmbar werden, ist gerade die entgegengesetzte, als die Folge von Ursache und Wirkung. Erst blitzt es, dann verstärkt sich der Regen; nach Ablauf des Regens ist der Wind geändert.

---

[1]) Diese Stelle ist geändert mit Rücksicht auf die im Berliner physikalischen Laboratorium ausgeführten Versuche von Mr. Blake und die von Herrn Werner Siemens gegebene Erklärung der Blitze.

Aber die erste Ursache ist der schwerere Ostwind, der herandrängt; er bewirkt den Niederschlag, der Niederschlag den Blitz.

Es ist durchaus nicht unglaublich, dass eine Feuersbrunst oder der Kanonendonner einer Schlacht, wie behauptet worden ist, ein Gewitter heranziehen könne. Wenn der entsprechende Zustand unsicheren Gleichgewichts in der Atmosphäre nur erst vorbereitet ist, kann jeder Umstand, der einen ersten kleinen Theil der feuchtwarmen Luftmasse zum Aufsteigen bringt, wie der Funken im Pulverfasse wirken und die Hauptentladung nach der Stelle dieser ersten Störung hinlenken.

In allen den beschriebenen Verhältnissen liegt nichts, was nicht ganz einfach auf der gesetzmässigen Wirkung wohlbekannter physikalischer Kräfte beruhte; nur spielt das labile Gleichgewicht hier eine besondere Rolle, weil bei einem solchen die unbedeutendsten Veranlassungen, die kleinsten Abänderungen der Temperatur, Feuchtigkeit, Geschwindigkeit einzelner Luftmassen bewirken können, dass colossale Kräfte sich im einen oder andern Augenblicke nach dieser oder jener Stelle hin entfesseln. Um vorausberechnen zu können, in welchem Augenblicke und an welchem Orte das labile Gleichgewicht durchbrochen werden wird, müssten wir erstens den vorausgehenden Zustand der Atmosphäre viel genauer kennen, als es wirklich der Fall ist. Denn wir kennen nur Durchschnittswerthe der Temperatur, der Feuchtigkeit, des Windes für die Erdoberfläche, und die genauen Werthe höchstens für einzelne Beobachtungsstationen und Beobachtungsstunden. Zweitens müssten wir im Stande sein, wenn wir erst genaue Data hätten, nun auch die Berechnung des weiteren Verlaufs mit der entsprechenden Genauigkeit durchzuführen. Aber obgleich wir die allgemeinen Regeln für eine solche Berechnung angeben können, wäre ihre wirkliche Ausführung eine so unabsehbare Arbeit, dass wir darauf verzichten müssen, bis bessere Methoden gefunden sind.

Ueberhaupt ist zu bemerken, dass wir nur solche Vorgänge in der Natur vorausberechnen und in allen beobachtbaren Einzelheiten verstehen können, bei denen kleine Fehler im Ansatze der Rechnung auch nur kleine Fehler im Endergebniss hervorbringen. Sobald labiles Gleichgewicht sich einmischt, ist diese Bedingung nicht mehr erfüllt.

So besteht für unsern Gesichtskreis noch der Zufall; aber er ist in Wirklichkeit nur der Ausdruck für die Mangelhaftigkeit

ıseres Wissens und die Schwerfälligkeit unseres Combinations-
rmögens. Ein Geist, der die genaue Kenntniss der Thatsachen
.tte und dessen Denkoperationen schnell und präcis genug voll-
gen würden, um den Ereignissen vorauszueilen, würde in der
.ldesten Launenhaftigkeit des Wetters nicht weniger, als im
ange der Gestirne, das harmonische Walten ewiger Gesetze
ıschauen, das wir nur voraussetzen und ahnen.

Das Denken in der Medicin

Rede
gehalten zur Feier des Stiftungstages der militairärztlichen
Bildungs-Anstalten in Berlin
1877

Hochgeehrte Herren!

Schon einmal, vor 35 Jahren, habe ich am 2. August vor einer ähnlichen Versammlung, wie die heutige ist, in der Aula dieses Instituts auf dem Katheder gestanden und einen Vortrag über die Operation der Blutadergeschwülste gehalten. Ich war damals noch Eleve des Instituts und gerade am Ende meiner Studienzeit. Da ich nie eine Blutadergeschwulst hatte operiren sehen, so war der Inhalt meines Vortrags freilich nur aus Büchern compilirt; aber Büchergelehrsamkeit spielte damals noch eine viel breitere und angesehenere Rolle in der Medicin, als man sie ihr heutzutage einzuräumen geneigt ist. Es war eine Zeit der Gährung, des Kampfes zwischen der gelehrten Tradition und dem neuen naturwissenschaftlichen Geiste, der keiner Tradition mehr glauben, sondern sich auf die eigene Erfahrung stellen wollte. Meine damaligen Vorgesetzten urtheilten günstiger über meinen Vortrag als ich selbst, und ich bewahre noch die Bücher, welche mir dafür als Prämien zu Theil wurden.

Die bei dieser Gelegenheit sich mir aufdrängenden Erinnerungen haben mir lebhaft das Bild des damaligen Zustandes unserer Wissenschaft, unserer Bestrebungen, unserer Hoffnungen zurückgerufen und mich vergleichen lassen, was damals war, mit dem, was daraus geworden ist. Viel ist geworden. Wenn auch nicht Alles, was wir gehofft hatten, erfüllt wurde, und Manches anders, als wir gehofft, so ist auch Manches geworden, worauf wir nicht zu hoffen gewagt hätten. Wie die Weltgeschichte vor den Augen unserer Generation einige ihrer seltenen Riesenschritte gemacht hat, so auch unsere Wissenschaft; daher ein alter Schüler, wie ich, das einst wohlbekannte, damals etwas matronenhafte Anlitz der Dame Medicin kaum wieder erkennt, wenn er gelegentlich wieder in Beziehung zu ihr tritt; so lebensfrisch und entwickelungskräftig ist sie in dem Jungbrunnen der Naturwissenschaften geworden.

Vielleicht ist mir der Eindruck dieses Gegensatzes frischer geblieben, als denjenigen meiner medicinischen Altersgenossen, welche ich vor mir als Zuhörer versammelt zu sehen heute die Ehre habe, und welche, in dauernder Berührung mit der Wissenschaft und Praxis geblieben, von den in kleinen Stufen sich vollziehenden grossen Aenderungen weniger überrascht und betroffen sein mögen. Dies wird Ihnen gegenüber meine Entschuldigung sein, wenn ich von der in dieser Periode vorgegangenen Metamorphose der Medicin rede, deren Entwickelungsergebnisse im Einzelnen Sie selbst freilich besser kennen werden als ich. Für die Jüngeren aber unter meinen Zuhörern möchte ich den Eindruck dieser Entwickelung und ihrer Ursachen nicht ganz verloren gehen lassen. Wenn dieselben gelegentlich einen Blick in die Literatur jener Zeit werfen, werden sie dort einer grossen Zahl von Sätzen begegnen, die ihnen fast erscheinen müssen wie in einer vergessenen Sprache geschrieben, so sehr, dass es ihnen nicht ganz leicht werden wird, sich in die Sinnesweise dieser so wenig hinter uns liegenden Periode zurückzuversetzen. Es liegt eine grosse Lehre über die wahren Principien wissenschaftlicher Forschung in dem Entwickelungsgange der Medicin, und der positive Theil dieser Lehre wird vielleicht durch keine vorausgehende Zeit so eindringlich gepredigt, wie durch das letzte Menschenalter. Da mir selbst zur Zeit die Aufgabe zugefallen ist, diejenige von den Naturwissenschaften zu lehren, welche die weitesten Verallgemeinerungen zu machen, den Sinn der Grundbegriffe zu erörtern hat, und der deshalb nicht unpassend bei englisch redenden Völkern der Name „Natural Philosophy“ geblieben ist: so fällt es ja wohl nicht zu weit aus dem Kreise meiner Berufsaufgaben und meines eigentlichen Studiums, wenn ich es unternehme, hier von den Principien wissenschaftlicher Methodik für die Erfahrungswissenschaften zu reden.

Was meine Bekanntschaft mit den Gedankenkreisen der älteren Medicin betrifft, so hatte ich dazu ausser der allgemeinen Veranlassung, welche für jeden gebildeten Arzt vorliegt, der die Literatur seiner Wissenschaft und die Richtung, sowie die Bedingungen ihres Fortschreitens verstehen will, noch eine besondere, da mir mit meiner ersten Professur in Königsberg vom Jahre 1849 bis 1856 die Aufgabe zufiel, in jedem Winter auch allgemeine Pathologie vorzutragen, d. h. denjenigen Theil der Krankheitslehre, der die allgemeinen theoretischen Begriffe von der Natur der Krankheit und die Principien ihrer Behandlung

enthalten sollte. Die allgemeine Pathologie war von den Aelteren gleichsam als die feinste Blüthe medicinischer Wissenschaftlichkeit angesehen worden. In der That aber hatte das, was früher ihren Inhalt gebildet, für den Jünger moderner Naturwissenschaft nur noch historisches Interesse.

Ueber die wissenschaftliche Berechtigung dieses Inhalts hatten schon manche meiner Vorgänger den Stab gebrochen, wie namentlich kurz zuvor Henle und Lotze. Letzterer, der ebenfalls von der Medicin ausgegangen war, hatte in seiner allgemeinen Pathologie und Therapie 1842 mit vernichtendem kritischem Scharfsinne besonders gründlich und methodisch aufgeräumt.

Meine eigene ursprüngliche Neigung hatte mich zur Physik getrieben; äussere Umstände zwangen mich, in das Studium der Medicin einzutreten, was mir durch die liberalen Einrichtungen des Friedrich-Wilhelms-Instituts möglich wurde. Uebrigens war es die Sitte der alten Zeit gewesen, das Studium der Medicin mit dem der Naturwissenschaften zu vereinigen, und was darin von Zwang lag, muss ich schliesslich als ein Glück preisen. Nicht allein, dass ich in einer Periode in die Medicin eintrat, wo der in physikalischen Betrachtungsweisen auch nur mässig Bewanderte einen fruchtbaren jungfräulichen Boden zur Beackerung vorfand, sondern ich betrachte auch das medicinische Studium als diejenige Schule, welche mir eindringlicher und überzeugender, als es irgend eine andere hätte thun können, die ewigen Grundsätze aller wissenschaftlichen Arbeit gepredigt hat, Grundsätze, so einfach und doch immer wieder vergessen, so klar und doch immer wieder mit täuschendem Schleier verhängt.

Man muss vielleicht dem brechenden Auge des Sterbenden und dem Jammer der verzweifelnden Familien gegenüber gestanden haben, man muss sich die schweren Fragen vorgelegt haben, ob man selbst Alles gethan habe, was man zur Abwehr des Verhängnisses hätte thun können, und ob die Wissenschaft auch wohl alle Kenntnisse und Hülfsmittel vorbereitet habe, die sie hätte vorbereiten sollen, um zu wissen, dass erkenntnisstheoretische Fragen über die Methodik der Wissenschaft auch eine bedrängende Schwere und eine fruchtbare praktische Tragweite erlangen können. Der bloss theoretische Forscher mag vornehm kühl darüber lächeln, wenn Eitelkeit und Phantasterei sich für eine Zeit in der Wissenschaft breit zu machen und Staub aufzuwirbeln suchen, vorausgesetzt, dass er selbst in seinem Arbeitszimmer ungestört bleibt. Oder er mag auch wohl Vorurtheile

der alten Zeit als Reste poetischer Romantik und jugendlicher Schwärmerei interessant und verzeihlich finden. Demjenigen, der mit den feindlichen Mächten der Wirklichkeit zu ringen hat, vergeht die Indifferenz und die Romantik; was er weiss und kann, wird schärferer Prüfung ausgesetzt, er kann nur das grelle harte Licht der Thatsachen brauchen, und muss es aufgeben, sich in angenehmen Illusionen zu wiegen.

Ich freue mich deshalb, einmal wieder vor einer Versammlung reden zu können, die fast ausschliesslich aus Medicinern besteht, welche die gleiche Schule durchgemacht haben. Die Medicin ist doch nun einmal das geistige Heimathland geworden, in dem ich herangewachsen bin, und auch der Auswanderer versteht und findet sich verstanden am besten in der Heimath.

Um den Grundfehler jener älteren Zeit gleich mit einem Worte zu bezeichnen, möchte ich sagen, dass sie einem falschen Ideal von Wissenschaftlichkeit nachjagte in einseitiger und unrichtig begrenzter Hochschätzung der deductiven Methode. Zwar war unter den Wissenschaften nicht allein die Medicin in diesem Irrthum befangen, aber in keiner anderen Wissenschaft sind die Folgen davon so grell an das Licht getreten und haben sich dem Fortschritt mit solchem Gewicht entgegengestemmt, als gerade in der Medicin. Darum scheint mir in der That die Geschichte dieser Wissenschaft ein ganz besonderes Interesse in der Entwickelungsgeschichte des menschlichen Geistes in Anspruch zu nehmen. Keine andere ist vielleicht mehr geeignet zu zeigen, dass eine richtige Kritik der Erkenntnissquellen eine auch praktisch höchst wichtige Aufgabe der wahren Philosophie ist.

Als Fahne gleichsam der alten deductiven Medicin diente das stolze Wort des Hippokrates:

ἰητρὸς φιλόσοφος ἰσόθεος

„Gottähnlich ist der Arzt, der Philosoph ist.“

Wir können es schon gelten lassen, wenn wir nur richtig feststellen, was unter einem Philosophen zu verstehen sei. Den Alten umfasste die Philosophie noch alle theoretische Kenntniss; ihre Philosophen betrieben auch Mathematik, Physik, Astronomie, Naturgeschichte in enger Vereinigung mit eigentlich philosophischen und metaphysischen Betrachtungen. Will man also unter dem ärztlichen Philosophen des Hippokrates einen Mann verstehen, der vollendete Einsicht in den Causalzusammenhang der Naturprozesse hat, so werden wir in der That mit ihm sagen können, ein solcher wird einem Gotte ähnlich helfen

können. So verstanden bezeichnet der Satz in drei Worten das Ideal, dem unsere Wissenschaft nachzustreben hat. Ob sie es je erreichen wird, wer will es sagen?

Aber auf so lange Frist ihre Hoffnungen hinauszuschieben, waren diejenigen Jünger der Medicin nicht geneigt, die sich schon bei eigenen Lebzeiten gottähnlich zu fühlen und Anderen also zu imponiren wünschten.

Man setzte die Ansprüche an den φιλόσοφος erheblich herab. Jeder Anhänger eines beliebigen welterklärenden Systems, in welches wohl oder übel die Thatsachen der Wirklichkeit hineinpassen mussten, fühlte sich als Philosoph. Von den Gesetzen der Natur wussten ja die Philosophen jener Zeit nicht gerade viel mehr als die ungelehrten Laien; der Nachdruck ihrer Bestrebungen fiel also zunächst auf das Denken, auf die logische Consequenz und Vollständigkeit des Systems. Es begreift sich wohl, wie es in jugendlichen Bildungsperioden zu einer so einseitigen Ueberschätzung des Denkens kommen konnte. Auf dem Denken beruht die Ueberlegenheit des Menschen über das Thier, des Gebildeten über den Barbaren; das Empfinden, Fühlen, Wahrnehmen theilt er dagegen mit seinen niederen Mitgeschöpfen und in Sinnesschärfe sind ihm manche von diesen sogar überlegen. Dass der Mensch seinem Denken die höchste Entwickelung zu geben strebt, ist die Aufgabe, von deren Lösung das Gefühl seiner eigenen Würde, wie seine praktische Macht abhängt. Ein natürlicher Irrthum war es, wenn man daneben gleichgültig behandelte, was die Natur auch dem Thiere von seelischen Fähigkeiten als Mitgift gegeben hat und wenn das Denken sich von seiner natürlichen Grundlage, dem Beobachten und Wahrnehmen, glaubte loslösen zu können, um den Ikarusflug der metaphysischen Speculation zu beginnen.

In der That ist es keine leichte Aufgabe, die Ursprünge unseres Wissens vollständig aufzudecken. Eine ungeheure Menge davon ist überliefert in Rede und Schrift. Diese Fähigkeit des Menschen, die Wissensschätze der Generationen zu sammeln, ist ein Hauptgrund seiner Ueberlegenheit über das auf ererbtem blinden Instinct und nur individuelle Erfahrung beschränkte Thier. Aber alles überlieferte Wissen wird schon geformt übergeben; wo der Berichterstatter es her hat, wie viel Kritik er angewendet, ist oft nicht mehr zu ermitteln, namentlich wenn die Ueberlieferung durch die Hände vieler Berichterstatter hindurch gegangen ist. Man muss es auf Treu und Glauben annehmen; zur Quelle kann

man nicht kommen, und wenn erst viele Generationen bei solchem Wissen sich beruhigt, keine Kritik daran geübt, ja auch wohl allerlei kleine Aenderungen, die sich schliesslich zu grossen summirten, daran angebracht haben, so werden oft sonderbare Sachen unter der Autorität uralter Wahrheit berichtet und geglaubt. Eine seltsame Historie dieser Art ist die Geschichte des Blutkreislaufs, von der wir noch zu reden haben werden.

Aber für den, der über die Ursprünge des Wissens reflectirt, ist noch verwirrender eine andere Art der Ueberlieferung durch die Sprache, die lange unentdeckt geblieben ist. Die Sprache wird nicht leicht Namen ausbilden für Klassen von Objecten oder für Klassen von Vorgängen, wenn nicht sehr oft und bei vielen Gelegenheiten die betreffenden Einzeldinge und Einzelfälle zusammen zu nennen sind, um Gemeinsames über sie auszusagen. Sie müssen also viele gemeinsame Merkmale haben. Oder wenn wir, wissenschaftlich darüber reflectirend, einige dieser Merkmale auswählen und als Definition zusammenstellen, so muss der gemeinsame Besitz dieser auserwählten Merkmale bedingen, dass in den betreffenden Fällen noch eine grosse Menge anderer Merkmale regelmässig aufzufinden sind, es muss eine naturgesetzliche Verbindung zwischen den erstgenannten und den letztgenannten Merkmalen vorhanden sein. Wenn wir zum Beispiel die Thiere, welche von ihren Müttern gesäugt worden sind, mit dem Namen der Säuger bezeichnen, so können wir von ihnen weiter aussagen, dass diese alle Warmblüter sind, lebendig geboren wurden, eine Wirbelsäule haben, kein Quadratbein haben, durch Lungen athmen, getrennte Herzabtheilungen haben u. s. w. u. s. w. Also schon der Umstand, dass in der Sprache eines intelligent beobachtenden Volkes eine gewisse Anzahl von Dingen mit einem und demselben Worte bezeichnet wird, zeigt an, dass diese Dinge oder Fälle einem gemeinsamen naturgesetzlichen Verhältniss unterliegen; schon dadurch allein wird eine Summe von Erfahrungen der vorausgegangenen Generationen überliefert, ohne dass es so erscheint.

Ferner findet sich der Erwachsene, wenn er über den Ursprung seines Wissens zu reflectiren beginnt, im Besitz einer ungeheuren Menge alltäglicher Erfahrungen, die zum grossen Theil bis in das Dunkel seiner ersten Kinderjahre hinaufreichen. Alles Einzelne ist längst vergessen; aber die gleichartigen Spuren, welche tägliche Wiederholung ähnlicher Fälle in seinem Gedächtnisse zurückliess, haben sich tief eingeschnitten. Und da nur

das sich regelmässig immer wiederholt, was gesetzlich ist, so sind diese tief eingegrabenen Reste aller vorausgegangenen Anschauungen gerade Anschauungen des Gesetzlichen in den Dingen und Vorgängen.

Die beiden genannten Vorgänge verschaffen dem Menschen den Besitz einer ausgedehnten Menge von Kenntnissen, von denen er nicht weiss, wo sie herkommen, die dagewesen sind, so lange er zurückdenken kann. Wir brauchen nicht einmal auf die Möglichkeit einer Vererbung durch die Zeugung zurückzugehen. Die Begriffe, die er sich gebildet, die ihm seine Muttersprache überliefert, bewähren sich als ordnende Mächte auch in der objectiven Welt der Dinge, und da er nicht weiss, dass er oder seine Vorfahren diese Begriffe nach den Dingen ausgebildet haben, so scheint ihm die Welt der Dinge von geistigen Mächten, seinen Begriffen ähnlich, beherrscht zu werden. Diesen psychologischen Anthropomorphismus erkennen wir wieder von den Ideen des Plato an, bis zur immanenten Dialektik des Weltprozesses bei Hegel und zu dem unbewussten Willen Schopenhauer's.

Die Naturwissenschaft — und sie fällt in der älteren Zeit mit der Medicin im Wesentlichen zusammen — folgte dem Wege der Philosophie; die deductive Methode schien Alles leisten zu können. Sokrates hatte freilich die inductive Begriffsbildung in der lehrreichsten Weise entwickelt. Aber das Beste, was er geleistet hatte, blieb, wie es gewöhnlich geht, so gut wie unverstanden.

Ich will Sie nicht durch das bunte Gewirr von pathologischen Theorien hindurchführen, die je nach wechselnden Neigungen ihrer Autoren, gewöhnlich veranlasst durch diesen oder jenen Zuwachs naturwissenschaftlicher Kenntnisse, auftauchten und meist, wie es scheint, zuerst von Aerzten aufgestellt wurden, die als grosse Beobachter und Heilkünstler, unabhängig von ihren Theorien, sich Ruhm und Ansehen erwarben. Dann kamen die weniger begabten Schüler, welche den Meister copirten, seine Theorie übertrieben, sie einseitiger und logischer machten, unbekümmert um den Widerspruch der Natur. Je strenger das System, desto weniger und desto eingreifender pflegten die Methoden zu sein, auf welche sich das Heilverfahren reducirte. Je mehr die Schulen den anwachsenden wirklichen Kenntnissen gegenüber ins Gedränge geriethen, desto mehr steiften sie sich auf die alten Autoritäten, desto intoleranter wurden sie gegen Neuerungen. Der grosse

Reformator der Anatomie Vesalius wurde vor die theologische Facultät von Salamanca geladen, mit Servetus wurde in Genf sein Buch, in dem er den Lungenkreislauf beschrieb, verbrannt, und die Pariser Facultät verbot, in ihren Hörsälen den von Harvey entdeckten Blutkreislauf zu lehren.

Dabei waren die Grundlagen der Systeme, von welchen diese Schulen ausgingen, zum grossen Theil naturwissenschaftliche Anschauungen, deren Verwerthung innerhalb eines begrenzten Kreises durchaus in der Ordnung gewesen wäre. Nicht in der Ordnung war nur der Wahn, dass es wissenschaftlicher sei, alle Krankheiten auf einen Erklärungsgrund zurückzuführen, statt auf verschiedene. Die Solidarpathologen wollten Alles aus veränderter Mechanik der festen Theile, namentlich aus ihrer veränderten Spannung, aus dem Strictum und Laxum, dem Tonus und der Atonie, später aus den gespannten oder abgespannten Nerven, den Stockungen in den Gefässen, herleiten. Die Humoralpathologen kannten nur Aenderungen der Mischung. Die vier Cardinalflüssigkeiten, Repräsentanten der klassischen vier Elemente, Blut, Schleim, gelbe und schwarze Galle, bei anderen die Acrimoniae oder Dyscrasien, welche durch Schwitzen und Purgiren ausgetrieben werden mussten, im Anfang der neueren Zeit auch Säure und Alkali oder die alchymistischen Spiritus und Qualitates occultae der aufgenommenen Stoffe, waren die Elemente dieser Chemie. Dazwischen spielten allerlei physiologische Anschauungen, von denen einzelne merkwürdige Vorahnungen enthielten, wie das *ἔμφυτον ϑερμὸν*, die eingepflanzte Lebenswärme des Hippokrates, welches durch die Nahrungsmittel unterhalten wird, diese wiederum im Magen kocht und die Quelle aller Lebensbewegung ist; hier ist schon die Frage angesponnen, die später von ärztlicher Seite zur Auffindung des Aequivalentverhältnisses zwischen mechanischer Arbeit und Wärme[1]), sowie zur wissenschaftlichen Formulirung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft[2]) führte. Dagegen hat das *πνεῦμα*, halb Geist, halb Luft, welches man aus den Lungen in die Arterien dringen und diese füllen liess, viel arge Verwirrung angerichtet. Der Umstand, dass man in den Arterien todter Körper der Regel nach Luft findet,

---

[1]) Robert Mayer, Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel. Heilbronn 1845. — Die Mechanik der Wärme. Stuttgart 1867.

[2]) H. Helmholtz, Die Erhaltung der Kraft. 1847. Berlin. Siehe den Anhang zu dieser Rede am Schluss dieses Bandes.

die freilich erst im Augenblicke, wo man die Gefässe anschneidet, hineindringt, verleitete die Alten zu dem Glauben, diese Luft sei auch im Leben in den Arterien enthalten. Dann blieben für das Blut nur die Venen übrig, in denen es nicht circuliren konnte. Man meinte, es entstehe in der Leber, bewege sich von da zum Herzen und durch die Venen zu den Organen. Jede aufmerksame Beobachtung eines Aderlasses hätte lehren müssen, dass es in den Venen von der Peripherie kommt und zum Herzen hinfliesst. Aber diese falsche Theorie hatte sich mit der Erklärung der Fieber und Entzündungen so verwebt, dass sie das Gewicht eines Dogmas enthielt, welches anzugreifen gefährlich war.

Indess der wesentliche principielle Fehler dieser Systeme war und blieb doch die falsche Art von logischer Consequenz, zu der man sich verpflichtet glaubte, die Vorstellung, es müsse auf einen solchen Erklärungsgrund ein vollständiges, alle Formen der Erkrankung und deren Heilung umfassendes System gebaut werden. Die vollendete Kenntniss des Causalzusammenhanges einer Klasse von Erscheinungen giebt allerdings schliesslich ein logisch consequentes System. Es giebt keinen stolzeren Bau des strengsten Denkens als die moderne Astronomie, deducirt bis in die einzelnsten kleinen Störungen hinein aus Newton's Gravitationsgesetz. Aber einem Newton war ein Kepler vorausgegangen, der die Thatsachen inductiv zusammengefasst hatte; und niemals haben die Astronomen geglaubt, dass Newton's Kraft das gleichzeitige Wirken anderer Kräfte ausschlösse. Fortdauernd sind sie auf der Wacht geblieben, um zu erspähen, ob nicht auch Reibung, widerstehende Mittel, Meteorschwärme Einfluss haben. Die älteren Philosophen und Aerzte glaubten, sie könnten deduciren, ehe sie ihre allgemeinen Sätze durch Induction gesichert hatten. Sie vergassen, dass jede Deduction nur so viel Sicherheit hat als der Satz, aus dem deducirt wird, und dass jede neue Deduction zunächst immer nur wieder ein neues Prüfungsmittel ihrer eigenen Grundlagen an der Erfahrung werden muss. Dadurch, dass ein Schluss in sauberster logischer Methode aus einem unsicheren Vordersatze hergeleitet wird, gewinnt er nicht um eines Haares Breite an Sicherheit oder an Werth.

Charakteristisch aber für die Schulen, die auf solchen als Dogmen angenommenen Hypothesen ihr System errichteten, ist die Intoleranz, deren Aeusserungen ich zum Theil schon eben erwähnt habe. Wer auf wohlgesicherter Basis arbeitet, kann

einen Irrthum gern zugeben; ihm wird dabei nichts genommen als das, worin er sich geirrt hat. Wenn man aber den Ausgangspunkt auf eine Hypothese gestellt hat, die entweder durch Autorität gewährleistet erscheint oder nur gewählt ist, weil sie dem entspricht, was man für wahr halten zu können wünscht, so kann jeder Riss das ganze Gebäude der Ueberzeugungen rettungslos einreissen. Die überzeugten Anhänger müssen deshalb für jeden einzelnen Theil eines solchen Gebäudes denselben Grad von Infallibilität in Anspruch nehmen, für die Anatomie des Hippokrates ebenso viel wie für die Fieberkrisen; jeder Gegner kann ihnen nur als dumm oder schlecht erscheinen, und die Polemik wird nach einer alten Regel um so leidenschaftlicher und persönlicher, je unsicherer der Boden ist, der vertheidigt wird. Bei den Schulen der dogmatisch deductiven Medicin haben wir reichlich Gelegenheit, diese allgemeinen Regeln bestätigt zu finden. Ihre Intoleranz wandten sie theils gegen einander, theils gegen die Eklektiker, die bei verschiedenen Krankheitsformen verschiedene Erklärungsgründe herbeiholten. Letzteres in der Sache vollkommen begründete Verfahren trug in den Augen der Systematiker den Makel der Inconsequenz an sich. Und doch waren die grössten Aerzte und Beobachter, Hippokrates an der Spitze, Aretaeus, Galenus, Sydenham, Boerhave, Eklektiker oder wenigstens sehr laxe Systematiker gewesen.

Um die Zeit, als wir Aelteren in das Studium der Medicin eintraten, stand diese noch unter dem Einflusse der wichtigen Entdeckungen, welche Albrecht von Haller über die Erregung der Nerven gemacht hatte, diese in Verbindung gesetzt mit der vitalistischen Theorie von der Natur des Lebens. Haller hatte die Erregungsvorgänge an den Nerven und Muskeln abgeschnittener Glieder gesehen. Das Auffallendste daran war ihm gewesen, dass die verschiedenartigsten äusseren Einwirkungen mechanische, chemische, thermische, zu denen später noch die elektrischen kamen, immer denselben Erfolg, nämlich Muskelzuckung, hervorriefen. Nach ihrer Einwirkung auf den Organismus waren diese Erregungsvorgänge also nur quantitativ unterschieden, nur durch die Stärke der Wirkung; er bezeichnete sie deshalb mit dem gemeinsamen Namen der Reize, nannte den veränderten Zustand der Nerven die Reizung, und deren Fähigkeit, auf Reize zu antworten, welche mit dem Absterben verloren ging, die Reizbarkeit. Dieses ganze Verhältniss, welches, physikalisch genommen, eigentlich weiter nichts aussagt, als dass die Nerven betreffs der-

jenigen inneren Bewegungen, die nach der Erregung auftreten, in einem äusserst leicht störbaren Gleichgewichtszustande sind, wurde als die Grundeigenschaft des thierischen Lebens angesehen und ohne Bedenken auch auf die übrigen Organe und Gewebe des Körpers übertragen, für welche gar keine ähnlichen Thatsachen vorlagen. Man glaubte, dass sie alle nicht von selbst thätig wären, sondern erst durch Reize den Anstoss erhalten müssten; als die normalen Reize galten Luft und Nahrungsmittel. Die Art der Thätigkeit erschien dagegen durch die besondere Energie des Organs unter der Leitung der Lebenskraft bedingt. Steigerung oder Herabsetzung der Reizbarkeit waren die Kategorien, unter welche die sämmtlichen acuten Krankheiten subsumirt und aus denen die Indicationen für schwächende und erregende Behandlung hergenommen wurden. Die starre Einseitigkeit und rücksichtslose Consequenz, mit welcher R. Brown dies System einst durchgeführt hatte, war allerdings gebrochen; doch wurden immer noch die leitenden Gesichtspunkte daher genommen.

Die Lebenskraft hatte einst als luftartiger Geist, als Pneuma, in den Arterien gehaust, hatte dann beim Paracelsus die Gestalt des Archeus, einer Art hülfreichen Kobolds oder „inwendigen Alchymisten" angezogen, und ihre klarste wissenschaftliche Fassung als Lebensseele, Anima inscia, bei Georg Ernst Stahl erlangt, der in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts Professor der Chemie und Pathologie in Halle war. Stahl war ein klarer und feiner Kopf, der selbst da, wo er gegen unsere jetzigen Ansichten entscheidet, durch die Art, wie er die richtigen Fragen stellt, belehrend und fördernd ist. Er ist derselbe, der das erste umfassendere System der Chemie, das phlogistische, gründete. Wenn man sein Phlogiston in latente Wärme übersetzt, so gingen die theoretischen Grundzüge seines Systems wesentlich auch in die Lavoisier's über; nur kannte Stahl den Sauerstoff noch nicht, wodurch einige falsche Hypothesen, z. B. über die negative Schwere des Phlogiston, bedingt waren. Stahl's Lebensseele ist im Ganzen nach dem Vorbilde dargestellt, wie sich die pietistischen Gemeinden jener Zeit die sündige menschliche Seele dachten; sie ist Irrthümern und Leidenschaften, der Trägheit, Furcht, Ungeduld, Trauer, Unbedachtsamkeit, Verzweiflung unterworfen. Der Arzt muss sie bald besänftigen, bald aufstacheln oder strafen und zur Busse zwingen. Sehr gut ausgesonnen war es, wie er daneben die Nothwendigkeit der physikalischen und chemischen Wirkungen begründete. Die Lebensseele regiert

den Körper und wirkt nur mittelst der physikalisch-chemischen Kräfte der aufgenommenen Stoffe. Aber sie hat die Macht, diese Kräfte zu binden und zu lösen, sie gewähren zu lassen oder zu hemmen. Nach dem Tode werden die gehemmten Kräfte frei und rufen Fäulniss und Verwesung hervor. Um diese Hypothese vom Binden und Lösen zu widerlegen, musste das Gesetz von der Erhaltung der Kraft klar ausgesprochen werden.

Die zweite Hälfte des vorigen Jahrhunderts war schon zu sehr von Aufklärungsprincipien angesteckt, um Stahl's Lebensseele offen anzuerkennen. Man übertünchte sie mehr naturwissenschaftlich als Lebenskraft, Vis vitalis, während sie im Wesentlichen ihre Functionen beibehielt und unter dem Namen der Naturheilkraft in Krankheiten eine hervorragende Rolle spielte.

Die Lehre von der Lebenskraft trat ein in das pathologische System der Erregbarkeitsänderungen. Man suchte zu trennen die unmittelbaren Einwirkungen der krankmachenden Schädlichkeit, soweit sie von dem Spiel blinder Naturkräfte abhingen, die Symptomata morbi, von denen, welche die Reaction der Lebenskraft einleitete, den Symptomata reactionis. Die letzteren sah man hauptsächlich in der Entzündung und im Fieber. Dem Arzte fiel kaum mehr als die Rolle zu, die Stärke dieser Reaction zu überwachen und sie, je nach Umständen, anzustacheln oder zu dämpfen.

Die Behandlung des Fiebers erschien jeder Zeit als die Hauptsache, als der eigentlich wissenschaftlich begründete Theil der Medicin, woneben die Localbehandlung als verhältnissmässig untergeordnet zurücktrat. Die Therapie der fieberhaften Krankheiten war dadurch schon sehr einförmig geworden, wenn auch die durch die Theorie indicirten Mittel, wie namentlich das seit jener Zeit fast ganz aufgegebene Blutlassen, noch kräftig gebraucht wurden. Noch mehr verarmte die Therapie, als die jüngere und kritischer gestimmte Generation herantrat und die Voraussetzungen dessen prüfte, was man als wissenschaftlich betrachtete. Es waren damals unter den jüngeren Aerzten viele, die in Verzweiflung an ihrer Wissenschaft fast jede Therapie aufgaben oder principmässig nach einer Empirie griffen, wie sie Rademacher damals lehrte, welche grundsätzlich jede Hoffnung auf wissenschaftliches Verständniss als eitel ansah.

Was wir damals kennen gelernt haben, waren nur noch Ruinen des alten Dogmatismus, aber die bedenklichen Seiten desselben traten noch deutlich genug hervor.

Dem vitalistischen Arzte hing der wesentliche Theil der Lebensvorgänge nicht von Naturkräften ab, die, mit blinder Nothwendigkeit und nach festem Gesetz ihre Wirkung ausübend, den Erfolg bestimmten. Was solche verrichten konnten, erschien als Nebensache und ein eingehendes Studium derselben kaum der Mühe werth. Er glaubte mit einem seelenähnlichen Wesen zu thun zu haben, dem ein Denker, ein Philosoph und geistreicher Mann gegenüberstehen musste. Darf ich es Ihnen durch einzelne Züge erläutern?

Es war eine Zeit, wo Auscultation und Percussion der Brustorgane in den Kliniken schon regelmässig betrieben wurde; aber noch manchmal habe ich behaupten hören, es seien dies grob mechanische Untersuchungsmittel, deren ein Arzt von hellem Geistesauge nicht bedürfe; auch setze man dadurch den Patienten, der doch auch ein Mensch sei, herab und entwürdige ihn zu einer Maschine. Das Pulsfühlen erschien als das directeste Verfahren, um die Reactionsweise der Lebenskraft kennen zu lernen, und wurde deshalb als bei Weitem das wichtigste Beobachtungsmittel fein eingeübt. Dabei mit der Secundenuhr zu zählen, war schon gewöhnlich, galt aber bei den alten Herren als ein Verfahren von nicht ganz gutem Geschmack. An Temperaturmessungen bei Kranken wurde noch nicht gedacht. In Bezug auf den Augenspiegel sagte mir ein hochberühmter chirurgischer College, er werde das Instrument nie anwenden, es sei zu gefährlich, das grelle Licht in kranke Augen fallen zu lassen; ein Anderer erklärte, der Spiegel möge für Aerzte mit schlechten Augen nützlich sein, er selbst habe sehr gute Augen und bedürfe seiner nicht.

Ein durch bedeutende literarische Thätigkeit berühmter, als Redner und geistreicher Mann gefeierter Professor der Physiologie jener Zeit hatte einen Streit über die Bilder im Auge mit dem Collegen von der Physik. Der Physiker forderte den Physiologen auf, zu ihm zu kommen und den Versuch zu sehen. Der letztere wies dies Ansinnen entrüstet zurück: „ein Physiologe habe mit Versuchen nichts zu thun, die seien gut für den Physiker". Ein anderer bejahrter und hochgelehrter Professor der Arzneimittellehre, der sich viel mit Reorganisation der Universitäten beschäftigte, um die alte gute Zeit zurückzuführen, drang inständigst in mich, die Physiologie zu theilen, den eigentlich gedanklichen Theil selbst vorzutragen und die niedere experimentelle Seite einem Collegen zu überlassen, den er dafür als

gut genug ansah. Er gab mich auf, als ich ihm erklärte, ich selbst betrachtete die Experimente als die eigentliche Basis der Wissenschaft.

Ich erzähle Ihnen diese selbst erlebten Züge, um Ihnen anschaulich zu machen, wie die Stimmung der älteren Schulen, und zwar die von gefeierten Repräsentanten der ärztlichen Wissenschaft gegenüber dem andringenden Ideenkreise der Naturwissenschaften war; in der Literatur haben diese Ansichten natürlich schwächeren Ausdruck gefunden, weil die alten Herren doch zu vorsichtig und weltgewandt waren.

Sie begreifen, wie sehr eine solche Stimmung von einflussreichen und geachteten Männern dem Fortschritt hinderlich gewesen sein muss. Die medicinische Bildung jener Zeit beruhte noch wesentlich auf Bücherstudium; es gab noch Vorlesungen, die sich auf das Dictiren eines Heftes beschränkten; für Versuche und Demonstrationen in den Vorlesungen war zum Theil schon gut, zum Theil nur dürftig gesorgt; physiologische und physikalische Laboratorien, wo der Schüler selbst hätte eingreifen können, gab es überhaupt noch nicht; für die Chemie war Liebig's grosse That, die Gründung des Laboratoriums in Giessen, schon vollzogen, aber anderswo noch nicht nachgeahmt worden. Indessen besass die Medicin in den anatomischen Uebungen ein grosses Erziehungsmittel für selbständige Beobachtung, welches den anderen Facultäten fehlte, und dessen Einfluss ich sehr hoch zu schätzen geneigt bin. Mikroskopische Demonstrationen kamen nur sehr vereinzelt und selten in den Vorlesungen vor. Die Instrumente waren noch theuer und selten; ich selbst gelangte dadurch in den Besitz eines solchen, dass ich die Herbstferien 1841 in der Charité am Typhus darniederliegend zubrachte, als Eleve unentgeltlich verpflegt wurde, und mich als Reconvalescent im Besitz meiner aufgesparten kleinen Einkünfte sah. Das Instrument war nicht schön; doch war ich damit im Stande, die in meiner Dissertation beschriebenen Nervenfortsätze der Ganglienzellen bei den wirbellosen Thieren zu erkennen und die Vibrionen in meiner Arbeit über Fäulniss und Gährung zu verfolgen.

Wer überhaupt von meinen Studiengenossen Versuche anstellen wollte, musste dafür mit seinem Taschengelde einstehen. Eines haben wir dabei gelernt, was die jüngere Generation in den Laboratorien vielleicht nicht mehr so gut lernt, nämlich die Mittel und Wege, um zum Ziele zu gelangen, nach allen Rich-

tungen hin zu überlegen und alle Möglichkeiten in der Ueberlegung zu erschöpfen, bis ein gangbarer Weg gefunden war. Aber freilich hatten wir auch vor uns ein kaum angebrochenes Feld, in welchem fast jeder Spatenstich lohnende Ergebnisse heraufférdern konnte.

Es war ein Mann vorzugsweise, der uns den Enthusiasmus zur Arbeit in der wahren Richtung gab, nämlich Johannes Müller, der Physiolog. In seinen theoretischen Anschauungen bevorzugte er noch die vitalistische Hypothese, aber in dem wesentlichsten Punkte war er Naturforscher, fest und unerschütterlich: alle Theorien waren ihm nur Hypothesen, die an den Thatsachen geprüft werden mussten, und über die einzig und allein die Thatsachen zu entscheiden hatten. Selbst die Ansichten über diejenigen Punkte, welche sich am leichtesten in Dogmen versteinern, über die Wirkungsweise der Lebenskraft und die Thätigkeiten der bewussten Seele, suchte er unablässig mittelst der Thatsachen fester zu begrenzen, zu beweisen oder zu widerlegen.

Wenn auch die Technik anatomischer Untersuchungen ihm am geläufigsten war und er auf diese am liebsten zurückging, arbeitete er sich doch auch in die ihm fremderen chemischen und physikalischen Methoden ein. Er lieferte den Nachweis, dass der Faserstoff in der Blutflüssigkeit gelöst sei, er experimentirte über Schallfortpflanzung in solchen Mechanismen, wie sie sich in der Trommelhöhle finden, behandelte als Optiker die Thätigkeit des Auges. Seine für die Physiologie des Nervensystems, wie für die Erkenntnisstheorie bedeutsamste Leistung war die feste thatsächliche Begründung der Lehre von den specifischen Energien der Nerven. In Bezug auf die Scheidung der Nerven von motorischer und sensibler Energie lehrte er, wie der experimentelle Beweis des Bell'schen Gesetzes über die Rückenmarkwurzeln fehlerfrei zu führen sei. Betreffs der specifischen Energien der Sinnesnerven stellte er nicht bloss das allgemeine Gesetz auf, sondern führte auch eine grosse Anzahl von Einzeluntersuchungen durch, um Ausnahmen zu beseitigen, falsche Deutungen und Ausflüchte zu widerlegen. Was man bis dahin aus den Daten der täglichen Erfahrung geahnt und in unbestimmter, das Wahre mit Falschem vermischender Weise auszusprechen gesucht, oder nur erst für einzelne engere Gebiete, wie Young für die Farbentheorie, Bell für die motorischen Nerven fest formulirt hatte, das ging aus Müller's Händen

in der Form klassischer Vollendung hervor, eine wissenschaftliche Errungenschaft, deren Werth ich der Entdeckung des Gravitationsgesetzes gleichzustellen geneigt bin.

Sein Geist und sein Beispiel vorzugsweise arbeitete fort in seinen Schülern. Uns waren schon vorausgegangen: Schwann, Henle, Reichert, Peters, Remak, ich traf hier als Studiengenossen E. du Bois-Reymond, Virchow, Brücke, Ludwig, Traube, J. Meyer, Lieberkühn, Hallmann; es folgten nach A. v. Graefe, W. Busch, Max Schultze, A. Schneider.

Die mikroskopische und pathologische Anatomie, das Studium der organischen Typen, die Physiologie, die experimentirende Pathologie und Arzneimittellehre, die Augenheilkunde entwickelten sich unter dem Einfluss dieses mächtigen Anstosses in Deutschland schnell hinaus über das Maass der mitstrebenden Nachbarländer. Zu Hülfe kam das Wirken ähnlich gesinnter Zeitgenossen Müller's, unter denen vor Allen die drei Leipziger Brüder Weber zu nennen sind, die in der Mechanik des Kreislaufs, der Muskeln, der Gelenke, des Ohrs festen Grund gemacht haben.

Man griff an, wo man irgendwie einen Weg sah, um einen der Lebensvorgänge verständlich zu machen; man setzte voraus, sie seien verständlich, und der Erfolg entsprach dieser Voraussetzung. Jetzt ist eine feine und reiche Technik für die Methoden des Mikroskopirens, der physiologischen Chemie, der Vivisectionen ausgebildet, letztere namentlich mit Hülfe des betäubenden Aethers und des lähmenden Curare ausserordentlich erleichtert, wodurch eine Fülle von viel tiefer gehenden Problemen angreifbar werden, die unserer Generation noch ganz hoffnungslos erschienen. Das Thermometer, der Augen-, Ohren- und Kehlkopfspiegel, die Nervenreizung am Lebenden geben dem Arzte Möglichkeiten feiner und sicherer Diagnostik, wo uns noch absolutes Dunkel erschien; die immer steigende Anzahl nachgewiesener parasitischer Organismen setzt greifbare Objecte an die Stelle mystischer Krankheits-Entitäten und lehrt den Chirurgen, den furchtbar tückischen Zersetzungskrankheiten zuvorzukommen.

Aber glauben Sie nicht, meine Herren, dass der Kampf zu Ende sei. So lange es Leute von hinreichend gesteigertem Eigendünkel geben wird, die sich einbilden, durch Blitze der Genialität leisten zu können, was das Menschengeschlecht sonst nur durch mühsame Arbeit zu erreichen hoffen darf, wird es auch Hypo-

thesen geben, welche, als Dogmen vorgetragen, alle Räthsel auf einmal zu lösen versprechen. Und so lange es noch Leute giebt, die kritiklos leicht an das glauben, wovon sie wünschen, dass es wahr sein möchte, so lange werden jene Hypothesen auch noch Glauben finden. Beide Klassen von Menschen werden wohl nicht aussterben, und der letzteren wird immer die Majorität angehören.

Zwei Motive sind es namentlich, welche die metaphysischen Systeme immer getragen haben. Einmal möchte sich der Mensch als ein über das Maass der übrigen Natur hinausragendes Wesen höherer Art fühlen; diesem Wunsche entsprechen die Spiritualisten. Andererseits möchte er unbedingter Herr über die Welt durch sein Denken sein, und zwar natürlich durch sein Denken mit denjenigen Begriffsformen, zu deren Ausbildung er bis jetzt gelangt ist; dem suchen die Materialisten zu genügen.

Wer aber, wie der Arzt, den Heil oder Verderben bringenden Kräften handelnd gegenübertreten soll, dem obliegt unter schwerer Verantwortlichkeit die Verpflichtung, die Kenntniss der Wahrheit und nur der Wahrheit zu suchen, ohne Rücksicht, ob, was er findet, den Wünschen der einen oder der anderen Art schmeichelt. Sein Ziel ist ein ganz fest gegebenes, für ihn ist schliesslich nur der thatsächliche Erfolg entscheidend. Er muss streben, voraus zu wissen, was der Erfolg seines Eingreifens sein wird, wenn er so oder so verfährt. Um dieses Vorauswissen des Kommenden oder des noch nicht durch Beobachtung Festgestellten zu erwerben, haben wir keine andere Methode, als dass wir die Gesetze der Thatsachen durch Beobachtung kennen zu lernen suchen; und wir können sie kennen lernen durch Induction, durch sorgfältige Aufsuchung, Herbeiführung, Beobachtung solcher Fälle, die unter das Gesetz gehören. Glauben wir ein Gesetz gefunden zu haben, dann tritt auch das Geschäft des Deducirens ein. Dann haben wir die Consequenzen unseres Gesetzes möglichst vollständig abzuleiten, aber freilich zunächst nur, um sie an der Erfahrung zu prüfen, so weit sie sich irgend prüfen lassen, und um durch diese Prüfung zu entscheiden, ob das Gesetz sich als gültig bewähre und in welchem Umfange. Dies ist eine Arbeit, die eigentlich nie aufhört. Der echte Naturforscher überlegt bei jeder neuen fremdartigen Erscheinung, ob nicht die bestbewährten Wirkungsgesetze längst bekannter Kräfte eine Abänderung erhalten müssen; natürlich kann es sich dabei nur um eine Abänderung handeln, die dem ganzen Schatze der bisher aufgesammelten Erfahrungen nicht widerspricht. So

kommt er freilich nie zur unbedingten Wahrheit, aber doch zu so hohen Graden der Wahrscheinlichkeit, dass sie praktisch der Gewissheit gleich stehen. Lassen wir die Metaphysiker darüber spotten; wir wollen uns ihren Spott zu Herzen nehmen, wenn sie einmal Besseres oder auch nur ebenso viel zu leisten im Stande sein werden, als die inductive Methode schon geleistet hat. Noch aber sind die alten Worte des Sokrates, des Altmeisters inductiver Begriffsbildung, genau ebenso jung, wie vor 2000 Jahren: „Jene glaubten zu wissen, was sie nicht wüssten, und er selbst habe wenigstens den Vorzug, dass er nicht vermeinte zu wissen, was er nicht wisse". Und wiederum: „Er wundere sich nur, dass Jene nicht merkten, wie unmöglich es den Menschen sei, dergleichen zu finden; da ja selbst die, welche auf ihre darüber vorgetragenen Theorien im allerhöchsten Grade eingebildet seien, unter sich nicht übereinstimmten, sondern sich wie die Rasenden (*τοῖς μαινομένοις ὁμοίως*) gegen einander betrügen"[1]. „*Τοὺς μέγιστον φρονοῦντας*" nennt sie Sokrates. Einen „Montblanc neben einem Maulwurfshaufen" nennt sich Schopenhauer[2], wenn er sich mit einem Naturforscher vergleicht. Die Schüler bewundern das grosse Wort und suchen dem Meister nachzuahmen.

Wenn ich gegen das leere Hypothesenmachen spreche, glauben Sie übrigens nicht, dass ich den Werth der echt originalen Gedanken herabsetzen wolle. Die erste Auffindung eines neuen Gesetzes ist die Auffindung bisher verborgen gebliebener Aehnlichkeit im Ablauf der Naturvorgänge. Sie ist eine Aeusserung des Seelenvermögens, welches unsere Vorfahren noch im ernsten Sinne „Witz" nannten; sie ist gleicher Art mit den höchsten Leistungen künstlerischer Anschauung in der Auffindung neuer Typen ausdrucksvoller Erscheinung. Sie ist etwas, was man nicht erzwingen und durch keine bekannte Methode erwerben kann. Darum haschen alle danach, die sich als bevorzugte Kinder des Genius geltend machen möchten. Auch scheint es so leicht, so mühelos, durch plötzliche Geistesblitze einen unerschwingbaren Vorzug vor den Mitlebenden sich anzueignen. Der rechte Künstler zwar und der rechte Forscher wissen, dass grosse Leistungen nur durch grosse Arbeit entstehen. Der Beweis dafür, dass die gefundenen Ideen nicht nur oberflächliche Aehnlich-

---

[1]) Xenophon Memorabil. I, 1, 11.

[2]) Arthur Schopenhauer, von ihm, über ihn, von Frauenstädt u. Lindner. Berlin 1883. S. 653.

keiten zusammenraffen, sondern durch einen tiefen Blick in den Zusammenhang des Ganzen erzeugt sind, lässt sich doch nur durch eine vollständige Durchführung derselben geben, für das neu entdeckte Naturgesetz also nur an seiner Uebereinstimmung mit den Thatsachen. Es ist das nicht etwa als eine Werthschätzung nach dem äusserlichen Erfolge anzusehen, sondern der Erfolg hängt hier wesentlich zusammen mit der Tiefe und Vollständigkeit der vorausgegangenen Anschauung.

Oberflächliche Aehnlichkeit finden ist leicht, ist unterhaltend in der Gesellschaft, und witzige Einfälle verschaffen ihrem Autor bald den Namen eines geistreichen Mannes. Unter einer grossen Zahl solcher Einfälle werden ja auch wohl einige sein müssen, die sich schliesslich als halb oder ganz richtig erweisen; es wäre ja geradezu ein Kunststück, immer falsch zu rathen. In solchem Glücksfalle kann man seine Priorität auf die Entdeckung laut geltend machen; wenn nicht, so bedeckt glückliche Vergessenheit die gemachten Fehlschüsse. Andere Anhänger desselben Verfahrens helfen gern dazu, den Werth eines „ersten Gedankens“ zu sichern. Die gewissenhaften Arbeiter, welche sich scheuen, ihre Gedanken zu Markte zu bringen, ehe sie sie nicht nach allen Seiten geprüft, alle Bedenken erledigt und den Beweis vollkommen gefestigt haben, kommen dabei in unverkennbaren Nachtheil. Die jetzige Art, Prioritätsfragen nur nach dem Datum der ersten Veröffentlichung zu entscheiden, ohne dabei die Reife der Arbeit zu beachten, hat dieses Unwesen sehr begünstigt.

In den Letternkästen eines Buchdruckers liegt alle Weisheit der Welt zusammen, die schon gefunden ist und noch gefunden werden kann; man müsste nur wissen, wie man die Lettern zusammenzuordnen hat. So sind auch in den Hunderten von Schriften und Schriftchen, die alljährlich erscheinen über Aether, Beschaffenheit der Atome, Theorie der Wahrnehmung, ebenso wie über das Wesen der asthenischen Fieber und der Carcinome, gewiss schon längst alle zartesten Nüancirungen der möglichen Hypothesen erschöpft, und unter diesen müssen nothwendig viele Bruchstücke der richtigen Theorie sein. Wer sie nur zu finden wüsste!

Ich hebe dies hervor, um Ihnen klar zu machen, dass diese Literatur der ungeprüften und unbestätigten Speculationen gar keinen Werth für den Fortschritt der Wissenschaft hat; im Gegentheil, die wenigen gesunden Gedanken, die darin stecken mögen, werden von dem Unkraut der übrigen zugedeckt. Wer

nachher wirklich Neues und wohlgeprüfte Thatsachen bringen will, sieht sich der Gefahr unzähliger Reclamationen ausgesetzt, wenn er nicht vorher mit dem Durchlesen einer Menge absolut unfruchtbarer Bücher Zeit und Kräfte vergeuden und den Leser durch die Menge unnützer Citate ungeduldig machen will.

Unsere Generation hat noch unter dem Drucke spiritualistischer Metaphysik gelitten, die jüngere wird sich wohl vor dem der materialistischen zu wahren haben. Kant's Zurückweisung der Ansprüche des reinen Denkens hat allmählich Eindruck gemacht, aber Kant liess noch einen Ausweg offen. Dass alle bis dahin aufgestellten metaphysischen Systeme nur Gewebe von Trugschlüssen seien, war ihm so klar wie dem Sokrates. Seine Kritik der reinen Vernunft ist eine fortlaufende Predigt gegen den Gebrauch der Kategorien des Denkens über die Grenzen möglicher Erfahrung hinaus. Aber die Geometrie schien ihm so etwas zu leisten, wie die Metaphysik es anstrebte, und er erklärte deshalb die Axiome der Geometrie, die er ansah als a priori vor aller Erfahrung gegebene Sätze, für gegeben durch transcendentale Anschauung, oder als die angeborene Form aller äusseren Anschauung. Seitdem ist die reine Anschauung a priori der Ankerplatz der Metaphysiker geworden. Sie ist noch bequemer als das reine Denken, weil man ihr Alles aufbürden kann, ohne sich in Schlussketten hineinzubegeben, die einer Prüfung und Widerlegung fähig wären. Die nativistische Theorie der Sinneswahrnehmungen ist der Ausdruck dieser Theorie in der Physiologie. Alle Metaphysiker vereinigt kämpfen gegen jeden Versuch, die Anschauungen, seien es sogenannte reine oder empirische, die Axiome der Geometrie, die Grundsätze der Mechanik oder die Gesichtswahrnehmungen in ihre rationellen Elemente aufzulösen. Eben wegen dieses Sachverhalts halte ich die neueren mathematischen Untersuchungen von Lobatschewsky, Gauss, Riemann u. A. über die logisch möglichen Abänderungen der Axiome der Geometrie und den Nachweis, dass die Axiome Sätze sind, die durch die Erfahrung bestätigt oder vielleicht auch widerlegt, und deshalb aus der Erfahrung gewonnen werden können, für einen sehr wichtigen Fortschritt. Dass alle Secten der Metaphysiker sich darüber ereifern, darf Sie nicht irre machen; denn diese Untersuchungen legen die Axt an die scheinbar festeste Stütze, die ihren Ansprüchen noch blieb.

Ich bitte Sie nicht zu vergessen, dass auch der Materialismus eine metaphysische Hypothese ist, eine Hypothese, die sich im

Gebiete der Naturwissenschaften allerdings als sehr fruchtbar erwiesen hat, aber doch immer eine Hypothese. Und wenn man diese seine Natur vergisst, so wird er ein Dogma und kann dem Fortschritte der Wissenschaft ebenso hinderlich werden und zu leidenschaftlicher Intoleranz treiben, wie andere Dogmen. Diese Gefahr tritt ein, sobald man Thatsachen zu leugnen oder zu verdecken sucht zu Gunsten entweder der erkenntnisstheoretischen Principien des Systems, oder zu Gunsten von Specialtheorien, die naturwissenschaftlich klingende Erklärungen von einzelnen Gebieten zu geben suchen. So hat man z. B. gegen solche Forscher, welche aus den Sinneswahrnehmungen herauszulösen suchen, was darin von Wirkungen des Gedächtnisses und der im Gedächtnisse zu Stande kommenden Verstärkung wiederholter gleichartiger Eindrücke, kurz, was der Erfahrung angehört, ein Parteigeschrei zu erheben gesucht, sie seien Spiritualisten. Als ob Gedächtniss, Erfahrung und Uebung nicht auch Thatsachen wären, deren Gesetze gesucht werden können, und welche sich nicht wegdecretiren lassen, wenn sie auch nicht schon jetzt glatt und einfach auf die bekannten Gesetze der Erregung von Nervenfasern und deren Leitung zurückzuführen sind, so günstigen Spielraum der Phantasie auch das Gewirr der Ganglienzellenfortsätze und Nervenfaserverbindungen im Gehirn darbieten mag.

Ueberhaupt, so selbstverständlich der Grundsatz erscheint und so wichtig er ist, so oft wird er vergessen, der Grundsatz nämlich, dass die Naturforschung die Gesetze der Thatsachen zu suchen hat. Indem wir das gefundene Gesetz als eine Macht anerkennen, welche die Vorgänge in der Natur beherrscht, objectiviren wir es als Kraft, und nennen eine solche Zurückführung der einzelnen Fälle auf eine unter bestimmten Bedingungen einen bestimmten Erfolg hervorrufende Kraft eine ursächliche Erklärung der Erscheinungen. Wir können dabei nicht immer zurückgehen auf die Kräfte der Atome; wir sprechen auch von einer Lichtbrechungskraft, elektromotorischen und elektrodynamischen Kraft. Aber vergessen Sie nicht die bestimmten Bedingungen und den bestimmten Erfolg. Wenn diese nicht anzugeben sind, so ist die angebliche Erklärung nur ein verschämtes Geständniss des Nichtwissens, und dann ist es entschieden besser, dafür ein offenes Geständniss zu geben.

Wenn z. B. irgend ein vegetativer Prozess auf Kräfte der Zellen zurückgeführt wird ohne nähere Bestimmung der Bedingungen, unter welchen, und der Richtung, nach welcher diese

wirken, so kann dies höchstens noch den Sinn haben auszudrücken, dass entferntere Theile des Organismus dabei ohne Einfluss sind; aber auch dies möchte in den wenigsten Fällen sicher constatirt sein. Ebenso ist der ursprünglich wohl bestimmte Sinn, den Johannes Müller dem Begriff der Reflexbewegung gab, allmählich dahin verflüchtigt, dass, wenn an irgend einer Stelle des Nervensystems ein Eindruck stattgefunden hat, und an irgend einer anderen eine Wirkung eintritt, man dies erklärt zu haben glaubt, wenn man sagt, es sei ein Reflex. Den unentwirrbaren Verflechtungen der Hirnnervenfasern kann man Vieles aufbürden. Aber die Aehnlichkeit mit den Qualitates occultae der alten Medicin ist sehr bedenklich.

Aus dem ganzen Zusammenhange meiner Darstellung geht eigentlich schon hervor, dass das, was ich gegen die Metaphysik gesagt habe, nicht gegen die Philosophie gerichtet sein soll. Aber die Metaphysiker haben sich von jeher das Ansehen zu geben gesucht, als wären sie die Philosophen, und die philosophischen Dilettanten haben sich meistens nur für die weitfliegenden Speculationen der Metaphysiker interessirt, durch welche sie glaubten, in kurzer Zeit und ohne zu grosse Mühe die Summe alles Wissenswerthen kennen lernen zu können. Ich habe schon bei einer anderen Gelegenheit[1]) das Verhältniss der Metaphysik zur Philosophie mit dem der Astrologie zur Astronomie verglichen. Die Astrologie hatte das aufregendste Interesse für das grosse Publicum, namentlich für die vornehme Welt, und machte ihre angeblichen Kenner zu einflussreichen Personen. Die Astronomie dagegen, trotzdem sie das Ideal wissenschaftlicher Durcharbeitung geworden ist, muss sich jetzt mit einer kleinen Zahl still fortarbeitender Jünger begnügen.

Ebenso bleibt der Philosophie, wenn sie die Metaphysik aufgiebt, noch ein grosses und wichtiges Feld, die Kenntniss der geistigen und seelischen Vorgänge und deren Gesetze. Wie der Anatom, wenn er an die Grenzen des mikroskopischen Sehvermögens kommt, sich Einsicht in die Wirkung seines optischen Instrumentes zu verschaffen suchen muss, so wird jeder wissenschaftliche Forscher auch das Hauptinstrument, mit dem er arbeitet, das menschliche Denken, nach seiner Leistungsfähigkeit genau studiren müssen. Zeugniss für die Schädlichkeit irrthüm-

---

[1]) „Ueber das Streben nach Popularisirung der Wissenschaft". Siehe Anhang am Schluss dieses Bandes.

licher Ansichten in dieser Beziehung ist unter Anderem das zweitausendjährige Herumtappen der medicinischen Schulen. Und auf die Kenntniss der Gesetze der psychischen Vorgänge müsste der Arzt, der Staatsmann, der Jurist, der Geistliche und Lehrer bauen können, wenn sie eine wahrhaft wissenschaftliche Begründung ihrer praktischen Thätigkeit gewinnen wollten. Aber die echte Wissenschaft der Philosophie hat unter den üblen geistigen Gewohnheiten und falschen Idealen der Metaphysik vielleicht noch mehr zu leiden gehabt als die Medicin.

Nun noch eine Verwahrung; ich möchte nicht, dass Sie glaubten, meine Darstellung sei durch persönliche Erregung beeinflusst gewesen. Dass Jemand, der solche Meinungen hat, wie ich sie Ihnen vorgetragen habe, der seinen Schülern, wo er kann, den Grundsatz einschärft: „Ein metaphysischer Schluss ist entweder ein Trugschluss oder ein versteckter Erfahrungsschluss", von den Liebhabern der Metaphysik und der Anschauungen a priori nicht günstig angesehen wird, brauche ich nicht auseinanderzusetzen. Metaphysiker pflegen, wie Alle, die ihren Gegnern keine entscheidenden Gründe entgegenzusetzen haben, nicht höflich in ihrer Polemik zu sein; den eigenen Erfolg kann man ungefähr an der steigenden Unhöflichkeit der Rückäusserungen beurtheilen.

Meine eigenen Arbeiten haben mich mehr, als die übrigen Jünger der naturwissenschaftlichen Schule, in die streitigen Gebiete geführt, und die Aeusserungen metaphysischer Unzufriedenheit haben mich deshalb auch mehr als meine Freunde betroffen, wie dies Viele von Ihnen wissen werden.

Um also meine persönlichen Meinungen ausser Spiel zu lassen, habe ich schon zwei unverdächtige Gewährsmänner für mich sprechen lassen, Sokrates und Kant, welche beide sicher waren, dass alle bis zu ihrer Zeit aufgestellten metaphysischen Systeme Gewebe von eitel Trugschlüssen waren, und selbst sich hüteten, ein neues hinzuzufügen. Nur um zu zeigen, dass weder in den letzten zweitausend, noch in den letzten hundert Jahren die Sache sich geändert hat, lassen Sie mich schliessen mit einem Ausspruch von Friedrich Albert Lange, dem uns leider zu früh entrissenen Verfasser der Geschichte des Materialismus. In seinen nachgelassenen „Logischen Studien", die er schon in der Aussicht auf sein herannahendes Ende geschrieben hat, giebt er folgende Schilderung, die mir aufgefallen ist, weil sie eben so gut von den Solidar- und Humoralpathologen oder beliebigen

anderen alten dogmatischen Schulen der Medicin gelten könnte. Lange sagt: „Der Hegelianer schreibt zwar dem Herbartianer ein unvollkommeneres Wissen zu als sich selbst, und umgekehrt; aber keiner nimmt Anstand, das Wissen des Anderen gegenüber dem des Empirikers als ein höheres, und wenigstens als eine Annäherung an das allein wahre Wissen anzuerkennen. Es zeigt sich also, dass hier von der Bündigkeit des Beweises ganz abgesehen und schon die blosse Darstellung in Form der Deduction aus dem Ganzen eines Systems heraus als apodiktisches Wissen anerkannt wird“.

Werfen wir also keine Steine auf unsere alten medicinischen Vorgänger, die in dunklen Jahrhunderten und mit geringen Vorkenntnissen in genau dieselben Fehler verfallen sind, wie die grossen Intelligenzen des aufgeklärt sein wollenden neunzehnten Jahrhunderts. Jene machten es nicht schlechter als ihre Zeitgenossen, nur trat das Widersinnige der Methode an dem naturwissenschaftlichen Stoffe stärker hervor. Arbeiten wir weiter. Die Aerzte sind berufen, in diesem Werke der wahren Aufklärung eine hervorragende Rolle zu spielen. Unter den Ständen, welche ihre Kenntniss gegenüber der Natur fortdauernd handelnd bewähren müssen, sind sie diejenigen, welche mit der besten geistigen Vorbereitung herantreten und mit den mannigfachsten Gebieten der Naturerscheinungen bekannt werden.

Um endlich unsere Consultation über den Zustand der Dame Medicin rite mit der Epikrisis zu schliessen: so meine ich, wir haben alle Ursache, mit dem Erfolge der Behandlung zufrieden zu sein, die ihr die naturwissenschaftliche Schule hat angedeihen lassen, und wir können der jüngeren Generation nur empfehlen, in derselben Therapie fortzufahren.

———

Ueber die akademische Freiheit der deutschen Universitäten

Rede

gehalten beim Antritt des Rectorats an der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

1877

Hochgeehrte Herren!

Indem ich das ehrenvolle Amt übernehme, zu welchem mich das Vertrauen meiner Amtsgenossen berufen hat, ist die mir zunächst obliegende Pflicht, nochmals hier öffentlich meinen Dank gegen diejenigen auszusprechen, die mir ein solches Vertrauen geschenkt haben. Ich habe Grund, dasselbe um so höher zu schätzen, da es mir übertragen wurde, trotzdem ich erst eine kurze Reihe von Jahren in Ihrer Mitte weile, und trotzdem ich dem Kreise der Naturwissenschaften angehöre, die als ein etwas fremdartiges Element in den Kreis des Universitätsunterrichts eingetreten sind und zu mancherlei Abänderungen in der altbewährten Organisation der Universitäten gedrängt haben, zu anderen vielleicht noch drängen werden. Ja gerade in dem von mir vertretenen Fache der Physik, welches die theoretische Grundlage sämmtlicher anderen Zweige der Naturwissenschaften bildet, treten die besonderen Charakterzüge ihrer Methode am schärfsten hervor. Ich selbst bin schon einige Male in der Lage gewesen, Veränderungen der bisherigen Normen an der Universität zu beantragen, und hatte die Freude, stets die bereitwillige Unterstützung meiner Facultätsgenossen und des Senates zu finden. Dass Sie mich zum Leiter der Geschäfte dieser Universität für das nächste Jahr gewählt haben, zeigt mir, dass Sie mich nicht für einen unbedachten Neuerer halten. In der That, so sehr auch die Objecte, die Methoden, die nächsten Ziele naturwissenschaftlicher Untersuchungen von denen der Geisteswissenschaften äusserlich unterschieden sein mögen, und so fremdartig ihre Ergebnisse, so fernliegend das Interesse daran oft denjenigen Männern erscheinen mag, die gewöhnt sind, sich nur mit den unmittelbaren Aeusserungen und Erzeugnissen des Geisteslebens zu beschäftigen, so besteht doch, wie ich schon in einer Heidelberger Rectoratsrede[1]) darzulegen mich bemüht habe, in

---

[1]) Siehe Bd. I, S. 59 bis 185.

Wahrheit die engste Verwandtschaft im innersten Wesen der wissenschaftlichen Methode, wie in den letzten Zielen beider Klassen von Wissenschaften. Wenn die meisten Untersuchungsobjecte der Naturwissenschaften nicht unmittelbar mit Interessen des Geistes verknüpft sind, so darf man andererseits nicht vergessen, dass die Macht der ächten wissenschaftlichen Methode in ihnen viel deutlicher heraustritt, dass das Aechte vom Unächten durch die unbestechliche Kritik der Thatsachen viel schärfer geschieden wird, als es den verwickelteren Problemen der Geisteswissenschaften gegenüber der Fall ist.

Aber nicht bloss die Entwickelung dieser neuen, dem Alterthum fast unbekannten Seite wissenschaftlicher Thätigkeit, sondern auch der Einfluss mannigfacher politischer, socialer, selbst internationaler Beziehungen machen sich fühlbar und fordern Berücksichtigung. Der Kreis unserer Schüler hat sich erweitern müssen, das geänderte Staatsleben stellt andere Anforderungen an die ausscheidenden, immer mehr theilen sich die Zweige der Wissenschaften, immer grössere und mannigfaltigere äussere Hülfsmittel werden für das Studium noch neben den Bibliotheken nöthig. Kaum ist vorauszusehen, welchen neuen Anforderungen und Entscheidungen wir uns in nächster Zeit gegenübergestellt finden werden.

Andererseits haben die deutschen Universitäten sich eine Ehrenstellung nicht bloss in ihrem Vaterlande errungen; die Augen der civilisirten Welt sind auf sie gerichtet. Schüler der verschiedensten Zungen strömen ihnen selbst aus fernen Welttheilen zu. Eine solche Stellung kann durch einen falschen Schritt leicht verloren, aber schwer wiedergewonnen werden.

Unter diesen Umständen ist es unsere Pflicht, dass wir uns klar zu machen suchen, was der innere Grund der bisherigen Blüthe unserer Universitäten ist, welchen Kern ihrer Einrichtungen wir als unberührbares Heiligthum zu erhalten suchen müssen, wo hingegen nachgegeben werden dürfte, wenn Aenderungen verlangt werden. Ich halte mich keineswegs für berechtigt, hierüber endgiltig abzusprechen. Der Standpunkt jedes Einzelnen ist ein beschränkter; Vertreter anderer Wissenschaften werden von anderen Gesichtspunkten hier noch Anderes zu erkennen vermögen. Aber ich denke, ein endgültiges Ergebniss kann nur festgestellt werden, wenn Jeder sich klar zu machen sucht, wie die Verhältnisse ihm von seinem Standpunkte aus erscheinen.

Die mittelalterlichen Universitäten Europas haben ihren Ursprung zunächst als private freie Vereinigungen ihrer Studirenden genommen, welche unter dem Einflusse berühmter Lehrer zusammentraten und ihre Angelegenheiten selbst ordneten. In Anerkennung des öffentlichen Nutzens dieser Vereine erhielten sie bald von Seiten der Staatsgewalt schützende Privilegien und Ehrenrechte, namentlich eigene Gerichtsbarkeit und das Recht, akademische Grade zu verleihen. Die Studirenden jener Zeit waren überwiegend reife Männer, die zunächst nur zur eigenen Belehrung und ohne unmittelbaren praktischen Zweck die Universitäten aufsuchten; bald fing man an, auch jüngere hinzusenden, welche meist unter Aufsicht der älteren Mitglieder gestellt wurden. Die einzelnen Universitäten zerfielen wieder in engere ökonomische Vereine unter dem Namen von Nationes, Bursae, Collegia, deren ältere graduirte Mitglieder, Seniores, die gemeinsamen Angelegenheiten jedes solchen Vereins verwalteten, und auch zur Verwaltung der gemeinsamen Universitätsangelegenheiten zusammentraten. Noch jetzt sind im Hofe der Universität von Bologna Wappenschilder und Verzeichnisse der Mitglieder und Senioren vieler solcher Nationes aus alter Zeit erhalten. Die älteren graduirten Mitglieder wurden ihr Leben lang als bleibende Glieder der Vereine betrachtet und behielten namentlich ihr Stimmrecht, wie dies in den Doctorencollegien der Universität Wien und in den Colleges von Oxford und Cambridge bis vor Kurzem der Fall war oder noch jetzt ist.

Eine solche freie Vereinigung selbständiger Männer, wo Lehrer wie Lernende von keinem anderen Interesse zusammengeführt wurden, als von der Liebe zur Wissenschaft, die Einen durch das Streben, die Schätze geistiger Bildung, welche das Alterthum hinterlassen, kennen zu lernen, die Anderen bemüht, die ideale Begeisterung, welche ihr Leben durchwärmt hatte, in einer neuen Generation zu entzünden, war der Anfang der Universitäten, der Idee nach und in der Anlage ihrer Organisation auf die vollste Freiheit gegründet. Aber man darf bei ihnen nicht an Lehrfreiheit im modernen Sinne denken. Die Majorität pflegte sehr intolerant gegen abweichende Meinungen zu sein. Nicht selten wurden die Anhänger der Minorität gezwungen, die Universität ganz zu verlassen. Das geschah nicht bloss da, wo die Kirche sich einmischte, und wo politische oder metaphysische Sätze in Frage kamen. Selbst die medicinischen Facultäten, die von Paris als berühmteste von ihnen an der Spitze, litten

keine Abweichungen von dem, was sie als die Lehre des Hippokrates betrachteten. Wer Arzneien der Araber brauchte oder an den Kreislauf des Blutes glaubte, wurde ausgestossen.

Die Umformung der Universitäten in ihre jetzige Verfassung wurde wesentlich dadurch bedingt, dass ihnen der Staat seine materielle Hülfe gewährte, dafür aber auch das Recht in Anspruch nahm, bei ihrer Leitung mitzuwirken. Der Gang dieser Entwickelung war in den verschiedenen Ländern Europas verschieden, theils bedingt durch die Abweichungen der politischen Verhältnisse, theils durch die der nationalen Sinnesweise.

Am wenigsten verändert sind die beiden alten englischen Universitäten Oxford und Cambridge. Ihr grosses Stiftungsvermögen sowie der politische Sinn der Engländer für Conservirung jedes bestehenden Rechts haben fast jede Veränderung ausgeschlossen, selbst nach Richtungen hin, wo eine solche dringend wünschenswerth erschienen wäre. Beide Universitäten haben im Wesentlichen noch jetzt[1]) ihren Charakter beibehalten als Schulen für Kleriker ehemals der Römischen, jetzt der Anglicanischen Kirche, an deren Unterricht, so weit er der allgemeinen Bildung des Geistes dienen kann, auch Laien Theil nehmen, die dabei einer ähnlichen Aufsicht und Lebensweise unterworfen sind, wie man sie ehemals für die jungen Kleriker anzuordnen für gut fand. Sie leben in Convicten (Colleges) zusammen unter Aufsicht einer Anzahl graduirter älterer Mitglieder (Fellows) des College, übrigens in dem Stil und in den Sitten der wohlhabenden Klassen Englands. Ausgehen dürfen sie nur in vorgeschriebener Tracht von etwas klerikalem Schnitt, an der nicht nur die erlangten akademischen Grade, sondern auch die verschiedenen Adelsklassen durch besondere Abzeichen unterschieden sind. Der Unterricht ist dem Inhalt und den Methoden nach ein höher getriebener Gymnasialunterricht, nur in seiner Beschränkung auf das, was später im Examen verlangt wird, und in dem Einstudiren des Inhalts vorgeschriebener Lehrbücher mehr den Repetitorien ähnlich, wie sie an unseren Universitäten auch wohl gehalten werden. Die Leistungen der Studirenden werden durch sehr eingehende Examina für die Erwerbung der akademischen Grade controlirt, in denen sehr specielle Kenntnisse, aber nur für mässig ausgedehnte Gebiete verlangt werden. Durch solche

[1]) Die hier folgende Schilderung der Verhältnisse an den englischen Universitäten bezieht sich auf Zustände, wie sie etwa bis 1850 bestanden. In neuerer Zeit sind grosse Fortschritte gemacht worden.

Prüfungen werden die alten Abstufungen akademischer Würden des Baccalaureus, Licentiatus, Magister artium, Doctor erworben. Als Lehrer fungiren hauptsächlich die schon genannten Fellows, und zwar nicht kraft einer officiellen Berufung, wie etwa unsere Gymnasiallehrer, sondern vielmehr als Privatlehrer (Tutors) für eine Gruppe von Studirenden. Professoren giebt es nur wenige, und diese halten verhältnissmässig wenige, meist schwach besuchte Vorlesungen, gewöhnlich über einzelne ganz specielle Kapitel der Wissenschaft. Ihre Vorlesungen bilden durchaus keinen wesentlichen Theil des Unterrichts, sondern geben höchstens einzelnen Studirenden, welche aus eigenem Interesse weiter streben, die Gelegenheit zu grösseren Fortschritten. Die einzelnen Colleges bestehen übrigens in vollständiger Trennung neben einander, und nur die Abhaltung der Examina, die Ertheilung der Grade und die Ernennung einzelner Professoren ist gemeinsame Universitätsangelegenheit.

Erst in neuester Zeit hat man angefangen, Studirende, die nicht der Anglicanischen Kirche angehören, zuzulassen und für Unterricht in medicinischen und juristischen Fachwissenschaften einigermaassen zu sorgen. Unter den Professoren der englischen Universitäten ist eine grosse Zahl höchst ausgezeichneter und für die Wissenschaft bedeutender Männer gewesen. Da aber bei der Wahl derselben nicht nur alle gegenwärtig der Corporation angehörigen Fellows Stimmrecht haben, sondern auch alle ehemaligen Fellows, die jetzt von der Universität getrennt leben ohne weitere Interessengemeinschaft mit dieser, dagegen oft tief verstrickt in politische und kirchliche Parteibestrebungen, so haben Parteirücksichten neben persönlicher Kameradschaft meist entscheidenderen Einfluss als das wissenschaftliche Verdienst. In dieser Beziehung haben sich die englischen Universitäten die ganze Intoleranz der mittelalterlichen bewahrt. Die betreffenden Professoren sind übrigens nicht einmal gehalten, in der Universitätsstadt zu wohnen, sondern können irgendwo sonst im Königreich ihren Wohnsitz wählen und ein beliebiges Amt verwalten, z. B. nicht selten das eines Landpfarrers, wenn sie nur wöchentlich einmal zur Universität kommen, um eine Vorlesung zu halten; und oft genug soll nicht einmal so viel geschehen.

Während die englischen Universitäten von den ungeheuren Hülfsmitteln, über die sie verfügen, verhältnissmässig wenig auf die Dotation von Stellen wissenschaftlich bewährter Lehrer, und

das Wenige nicht einmal consequent für diesen Zweck verwenden, haben sie eine andere Einrichtung, welche für wissenschaftliches Studium scheinbar viel zu leisten verspricht, bisher aber kaum viel geleistet hat, nämlich die Einrichtung der Fellowships. Diejenigen, welche die besten Examina gemacht haben, können als Fellows in dem College verbleiben, wo sie Wohnung und Unterhalt finden, und daneben ein auskömmliches Gehalt (200 £) beziehen, welches ihnen freie Musse für wissenschaftliche Beschäftigungen gewährt. Oxford hat 557, Cambridge 531 solche Stellen. Die Fellows können daneben, aber müssen nicht als Lehrer (Tutors) der Studirenden des College functioniren. Sie brauchen nicht einmal in der Universitätsstadt zu wohnen, sondern können ihr Stipendium verzehren, wo sie wollen und es auf unbestimmte Zeit behalten. Nur wenn sie heirathen oder ein Amt annehmen, verlieren sie es, mit Ausnahme besonderer Fälle. Sie sind die eigentlichen Rechtsnachfolger der alten studentischen Corporationen, durch welche und für welche die Universität gestiftet und fundirt wurde. So schön aber der Plan dieser Einrichtung aussieht, so staunenswerth grosse Geldmittel darauf verwendet werden, so wenig leistet dieselbe nach dem Urtheil aller unbefangenen Engländer für die Wissenschaft; offenbar weil die meisten dieser jungen Männer, obgleich sie die Elite der Schüler sind und sich in den denkbar günstigsten Umständen für wissenschaftliche Arbeit befinden, während ihrer Studienzeit nicht genug mit dem lebendigen Geiste des Forschens in Berührung gekommen sind, um nun ihrerseits aus eigenem Interesse und eigener Begeisterung weiter zu arbeiten.

Die englischen Universitäten leisten in gewissen Beziehungen sehr Erhebliches. Sie erziehen ihre Schüler zu gebildeten Männern, freilich zu solchen, welche die Schranken ihrer politischen und kirchlichen Partei nicht durchbrechen sollen und auch in der That nicht durchbrechen. Oxford gehört vorzugsweise den Tories, Cambridge den Whigs an. In zwei Dingen besonders könnten wir ihnen wohl nachzustreben suchen. Erstens entwickeln sie bei ihren Schülern neben einem lebendigeren Gefühl für die Schönheit und Jugendfrische des Alterthums auch den Sinn für Feinheit und Schärfe des sprachlichen Ausdruckes in höchst anerkennenswerthem Grade, und dies macht sich bei ihnen namentlich geltend in der Weise, wie sie ihre Muttersprache zu handhaben wissen. In dieser Richtung ist, wie ich fürchte, eine der schwächsten Seiten des deutschen Jugendunterrichts zu finden.

Zweitens sorgen die englischen Universitäten, wie ihre Schulen, viel besser für das körperliche Wohl ihrer Studirenden. Diese wohnen und arbeiten in luftigen, geräumigen, von Grasplätzen und Baumanlagen umgebenen Gebäuden; sie finden einen wesentlichen Theil ihres Vergnügens in Spielen, die leidenschaftlichen Wetteifer in Ausbildung körperlicher Energie und Geschicklichkeit erregen, und sich in dieser Beziehung viel wirksamer bewähren als unsere Turn- und Fechtübungen. Man darf nicht vergessen, dass junge Männer, je mehr man sie von frischer Luft und der Gelegenheit zu kräftiger Bewegung absperrt, desto geneigter werden, eine scheinbare Erfrischung im Missbrauch des Tabaks und der berauschenden Getränke zu suchen. Auch ist anzuerkennen, dass die englischen Universitäten ihre Schüler an energisches und genaues Arbeiten gewöhnen und sie in den Sitten der gebildeten Gesellschaft festhalten. Was die moralische Wirkung der strengeren Aufsicht betrifft, so soll diese ziemlich illusorisch sein.

Die schottischen und einige kleinere englische Universitäten neueren Ursprungs, wie University College und King's College in London, Owen's College in Manchester, sind mehr nach deutschem und holländischem Muster durchgeführt.

Ganz abweichend, fast entgegengesetzt ist die Entwickelung der französischen Universitäten vor sich gegangen. Bei der Geneigtheit der Franzosen, alles historisch Entwickelte nach rationalistischen Theorien über den Haufen zu werfen, sind auch ihre Facultäten in ganz consequenter Weise zu reinen Unterrichtsanstalten, Fachschulen mit festen Regulativen für den Gang des Unterrichts ausgebildet und ganz getrennt von denjenigen Instituten, welche dem Fortschritt der Wissenschaft dienen sollen, wie das Collège de France, der Jardin des Plantes, die École des Études Supérieures. Die Facultäten sind gänzlich von einander getrennt, selbst wo sie in derselben Stadt zusammen liegen. Die Ordnung der Studien ist fest vorgeschrieben und wird durch häufige Examina controlirt. Der französische Unterricht beschränkt sich auf das, was klar feststeht, und überliefert dies in wohl geordneter, sorgfältig durchgearbeiteter Weise, leicht verständlich, ohne sich auf Zweifel und tiefere Begründung einzulassen. Die dazu verwendeten Lehrer brauchen nur gute receptive Talente zu sein. Eben deshalb gilt es in Frankreich fast als ein falscher Schritt, wenn ein junger Mann von viel versprechendem Talent eine Professur an einer Facultät der Provinz übernimmt. Die

Art des französischen Unterrichts ist gut geeignet, um Schülern auch von mässiger Begabung ausreichende Kenntnisse für die Routine ihres Berufes zu geben. Sie haben keine Wahl zwischen verschiedenen Lehrern und schwören also in verba magistri; das giebt eine glückliche Zufriedenheit mit sich selbst und Freiheit von Zweifeln. War der Lehrer gut gewählt, so genügt dies für die gewöhnlich vorkommenden Fälle, in denen der Schüler macht, was er den Lehrer hat machen sehen. Erst in den ungewöhnlichen Fällen erprobt es sich ja, wie viel wirkliche Einsicht und Urtheil der Schüler gewonnen hat. Uebrigens ist die französische Nation begabt, lebhaft und ehrgeizig; das corrigirt viele Mängel des Unterrichtssystems.

Ein eigenthümlicher Zug in der Organisation der französischen Universitäten liegt darin, dass die Stellung des Lehrers von dem Beifall seiner Zuhörer ganz unabhängig gemacht ist. Die Schüler, die seiner Facultät angehören, sind der Regel nach gehalten, seine Vorlesungen zu besuchen; die ziemlich erheblichen Gebühren, welche sie zahlen, fliessen in die Kasse des Unterrichtsministeriums und die regelmässigen Gehalte sämmtlicher Universitätsprofessoren werden aus denselben gedeckt; der Staat giebt zur Unterhaltung der Universitäten nur einen verschwindenden Beitrag. Wenn also nicht wirkliche Freude an der Lehrthätigkeit oder der Ehrgeiz, viele Zuhörer zu haben, wirksam ist, wird der Lehrer für den Erfolg seines Unterrichts leicht gleichgiltig werden.

Ausserhalb der Hörsäle leben die französischen Studirenden ohne Aufsicht, ohne besonderes Standesgefühl und Standessitte mit den gleichartigen jungen Männern anderer Berufsarten vermischt.

Eigenthümlich weicht von diesen beiden Extremen die Entwickelung der deutschen Universitäten ab. Zu arm an eigenem Vermögen, um nicht bei den wachsenden Ansprüchen an die Mittel des Unterrichts die Hülfe des Staats annehmen zu müssen und zu machtlos, um in den Zeiten, wo die modernen Staaten sich zu festigen suchten, den Eingriffen in die alten Rechtsverhältnisse widerstehen zu können, mussten die deutschen Universitäten sich dem leitenden Einfluss der Staatsgewalt fügen. Principiell ging in Folge dessen die letzte Entscheidung in fast allen wichtigeren Universitätsangelegenheiten an den Staat über, und gelegentlich wurde auch in Zeiten politischer und kirchlicher Spannung von dieser Obergewalt rücksichtsloser Gebrauch gemacht.

In den meisten Fällen aber waren die sich neu zu selbständiger Herrschaft herausarbeitenden Staatsgewalten den Universitäten günstig gestimmt; sie bedurften intelligenter Beamten; der Ruhm der Landesuniversität gab auch dem Regimente einen gewissen Glanz. Die verwaltenden Beamten waren ausserdem meist Schüler der Universität, sie blieben ihr anhänglich. Es ist sehr merkwürdig, dass trotz der Kriegsstürme und politischen Umwälzungen in den für die Befestigung ihrer jungen Souveränität mit dem zerfallenden Kaiserthum kämpfenden Staaten — während fast alle übrigen alten Standesrechte zu Grunde gingen — sich die Universitäten Deutschlands einen viel grösseren Kern innerer Freiheit, und zwar der werthvollsten Seiten dieser Freiheit gerettet haben, als in dem gewissenhaft conservativen England und dem der Freiheit stürmisch nachjagenden Frankreich.

Es ist bei uns stehen geblieben die alte Auffassung der Studirenden als selbst verantwortlicher junger Männer, die aus eigenem Triebe die Wissenschaft suchen, und denen es frei überlassen bleibt, ihren Studienplan einzurichten, wie sie es für gut finden. Wenn für einzelne Berufsarten das Hören bestimmter Vorlesungen, sogenannter Zwangscollegien, noch vorgeschrieben wurde, so erging die Vorschrift nicht von der Universität als solcher, sondern von den Staatsbehörden, welche später den Candidaten zu einem bestimmten Berufe zulassen sollten. Dabei herrscht jetzt und herrschte schon früher, mit vorübergehenden Ausnahmen, vollkommene Freizügigkeit der Studirenden zwischen allen Universitäten deutscher Zunge von Dorpat bis Zürich, Wien und Gratz, ausserdem an jeder einzelnen Universität freie Wahl zwischen den Lehrern, welche dasselbe Fach vortragen, unabhängig von deren Stellung als ordentlicher, ausserordentlicher Professoren oder Privatdocenten. Ja es bleibt den Studirenden die Möglichkeit offen, daneben einen beliebig grossen Theil ihrer Belehrung in Büchern zu suchen; es ist sogar höchst wünschenswerth, dass die Werke der grossen Männer vergangener Zeit einen wesentlichen Theil des Studiums ausmachen.

Ausserhalb der Universität fällt jede Aufsicht über das Treiben der Studirenden fort, so lange sie nicht mit den Dienern der öffentlichen Sicherheit in Collision gerathen. Ausser diesen Fällen ist die einzige Aufsicht, der sie unterliegen, die ihrer eigenen Commilitonen, welche sie hindert, etwas zu unternehmen, was gegen das Ehrgefühl des Standes verstösst. Die mittelalterlichen Universitäten bildeten fest geschlossene Corporationen

mit eigener Gerichtsbarkeit, die bis zum Recht über Leben und Tod ihrer Mitglieder reichte. Da sie meist auf fremdem Boden lebten, so war diese eigene Gerichtsbarkeit nöthig, theils um die Mitglieder vor Willkürlichkeiten fremder Gerichtsherren zu schützen, theils um denjenigen Grad von Achtbarkeit und Ordnung innerhalb der Corporationen zu erhalten, der nöthig war, um ihr die Fortdauer des Gastrechts auf fremdem Gebiete zu sichern und um die Streitigkeiten zwischen ihren eigenen Mitgliedern zu schlichten. Unter den neueren staatlichen Verhältnissen sind die Reste dieser akademischen Gerichtsbarkeit allmählich an die ordentlichen Gerichte übergegangen oder werden in der nächsten Zeit an sie übergehen; aber die Nothwendigkeit, für einen so grossen Verein lebhafter und kräftiger junger Männer gewisse Beschränkungen festzuhalten, welche den Commilitonen und den bürgerlichen Bewohnern der Stadt gegenüber den Frieden sichern, besteht fort. Dahin zielt in Collisionsfällen die disciplinarische Gewalt der Universitätsbehörden. Hauptsächlich jedoch muss dieses Ziel durch das Gefühl der studentischen Ehrenhaftigkeit erreicht werden; es ist ein Glück zu nennen, dass dieses Gefühl der corporativen Zusammengehörigkeit und die damit zusammenhängende Forderung der Ehrenhaftigkeit des Einzelnen bei den deutschen Studenten lebendig geblieben ist. Ich will damit keineswegs alle einzelnen Bestimmungen in dem Codex studentischer Ehre vertheidigen; es sind einige mittelalterliche Ruinen darin, die besser weggeräumt würden; das kann jedoch nur durch die Studirenden selbst geschehen.

Für die meisten Ausländer ist die aufsichtslose Freiheit der deutschen Studirenden, da ihnen zunächst nur einige leicht erkennbare Auswüchse dieser Freiheit in die Augen fallen, ein Gegenstand des Staunens; sie begreifen nicht, wie man ohne den grössten Schaden junge Männer so ganz sich selbst überlassen könne. Dem deutschen Manne bleibt an seine Studienzeit eine Rückerinnerung, wie an das goldene Alter des Lebens; unsere Litteratur und Poesie ist durchweht von Aeusserungen dieses Gefühls. Dagegen findet man nichts Aehnliches auch nur angedeutet in der Litteratur der übrigen europäischen Völker. Nur dem deutschen Studenten wird diese volle Freude an der Zeit, wo er im ersten Genusse junger Selbstverantwortlichkeit — zunächst noch von der Arbeit für fremde Interessen befreit — ausschliesslich der Aufgabe leben darf, dem Besten und Edelsten nachzustreben, was das Menschengeschlecht bisher im Stande war an Wissen und

Anschauungen zu gewinnen, eng verbunden in freundschaftlichem Wetteifer mit einer grossen Anzahl gleichstrebender Genossen und in täglichem geistigem Verkehr mit Lehrern, von denen er lernt, wie die Gedanken selbständiger Köpfe sich bewegen. Wenn ich an meine eigene Studienzeit zurückdenke und an den Eindruck, den ein Mann, wie Johannes Müller, der Physiolog, auf uns machte, so muss ich diesen letztgenannten Punkt sehr hoch anschlagen. Wer einmal mit Männern ersten Ranges in Berührung gekommen ist, hat seinen geistigen Maassstab für das Leben verändert; zugleich ist solche Berührung das Interessanteste, was das Leben bieten kann.

Sie, meine jungen Freunde, haben in dieser Freiheit der deutschen Studenten ein kostbares und edles Vermächtniss der vorausgegangenen Generationen empfangen. Wahren Sie es und hinterlassen Sie es den kommenden Geschlechtern, wo möglich noch gereinigt und veredelt. Zu wahren aber haben Sie es, indem Sie, jeder an seiner Stelle, dafür sorgen, dass die deutsche Studentenschaft dieses Vertrauens werth bleibe, welches ihr bisher einen solchen Grad der Freiheit eingeräumt hat. Freiheit bringt nothwendig Verantwortlichkeit mit sich. Sie ist ein ebenso verderbliches Geschenk für haltlose Charaktere, als sie werthvoll für starke ist. Wundern Sie sich nicht, wenn auch bei uns Väter und Staatsmänner zuweilen darauf drängen, dass ein dem englischen ähnliches, strengeres System von Beaufsichtigung und Controle eingeführt werde. Es ist keine Frage, dass durch ein solches noch Mancher gehalten werden könnte, der an der Freiheit zu Grunde geht. Dem Staat und der Nation freilich ist besser gedient mit denjenigen, welche die Freiheit ertragen können und welche zeigen, dass sie aus eigener Kraft und Einsicht, aus eigenem Interesse an der Wissenschaft zu arbeiten und zu streben wissen.

Wenn ich vorher den Einfluss der geistigen Berührung mit bedeutenden Männern betont habe, so führt mich dies zur Besprechung einer anderen Eigenthümlichkeit, durch welche sich die deutschen Universitäten von den englischen und französischen unterscheiden. Bei uns geht man darauf aus, den Unterricht wo möglich nur von Lehrern ertheilen zu lassen, welche ihre Fähigkeit, die Wissenschaft selbst zu fördern, dargethan haben; wir sehen hierin unbedingt die hauptsächlichste Qualification des Lehrers. Auch über diesen Punkt sprechen Engländer und Franzosen häufig ihre Verwunderung aus. Sie legen mehr Ge-

wicht als die Deutschen auf das sogenannte Lehrtalent, das heisst auf die Fähigkeit, in wohlgeordneter, klarer Form, und wo möglich in beredter, die Aufmerksamkeit fesselnder und unterhaltender Weise die Gegenstände des Unterrichts auseinanderzusetzen. Vorlesungen berühmter Redner am Collège de France, wie am Jardin des Plantes, ebenso wie in Oxford und Cambridge, sind häufig Sammelpunkte der eleganten und gebildeten Welt. In Deutschland ist man nicht nur gleichgiltig, sondern sogar misstrauisch gegen oratorischen Schmuck, und oft genug nachlässig in der äusseren Form des Vortrages. Es ist keine Frage, dass einem guten Vortrage mit viel geringerer Anstrengung zu folgen ist, als einem schlechten, dass der Inhalt des ersteren sicherer und vollständiger aufgefasst wird, dass eine wohl geordnete, die springenden Punkte, wie die Abtheilungen deutlich heraushebende, die Gegenstände anschaulich erläuternde Darstellung in gleicher Zeit mehr Inhalt überliefern kann, als eine von den gegentheiligen Eigenschaften. Ich will also unsere oft zu weit getriebene Verachtung der Form in Rede und Schrift keineswegs befürworten. Auch lässt sich nicht leugnen, dass häufig genug Männer von bedeutenden wissenschaftlichen Leistungen und geistiger Originalität recht schwerfällig und stockend vortragen. Dennoch habe ich nicht selten gesehen, dass Lehrer dieser Art zahlreiche und anhängliche Zuhörer hatten, während gedankenleere Redner bei der ersten Vorlesung Bewunderung, bei der zweiten Ermüdung erregten, nach der dritten verlassen waren. Wer seinen Zuhörern volle Ueberzeugung von der Richtigkeit seiner Sätze geben will, der muss vor allen Dingen aus eigener Erfahrung wissen, wie man Ueberzeugung gewinnt und wie nicht. Er muss also für sich selbst solche zu erkämpfen gewusst haben, wo ihm noch kein Vorgänger zu Hülfe kam; das heisst, er muss an den Grenzen des menschlichen Wissens gearbeitet und ihm neue Gebiete gewonnen haben. Ein nur fremde Ueberzeugungen berichtender Lehrer genügt für Schüler, die auf Autorität als Quelle ihres Wissens angewiesen werden sollen, aber nicht für solche, die Begründung ihrer Ueberzeugung bis zu den letzten Fundamenten verlangen.

Sie sehen, meine Herren Commilitonen, hierin liegt wieder ein ehrenvolles Vertrauen, mit dem die Nation Ihnen entgegenkommt. Man schreibt Ihnen nicht bestimmte Kurse und bestimmte Lehrer vor. Man betrachtet Sie als Männer, deren freie Ueberzeugung zu gewinnen ist, die das Wesen vom Schein zu unter-

scheiden wissen, die man nicht mehr mit einer Berufung auf irgend welche Autorität beschwichtigen kann, und die sich auch so nicht mehr beschwichtigen lassen sollen. Immer besser ist dafür gesorgt worden, dass Sie selbst zu den Quellen des Wissens, soweit diese in Büchern und Denkmälern, oder in Versuchen und in Beobachtungen natürlicher Objecte und Vorgänge liegen, herantreten können. Selbst die kleineren deutschen Universitäten haben ihre eigenen Bibliotheken, Sammlungen von Gypsen u. s. w. In der Errichtung von Laboratorien für Chemie, Mikroskopie, Physiologie, Physik ist wiederum Deutschland den übrigen europäischen Ländern vorangegangen, welche erst jetzt nachzueifern beginnen. Auch an unserer Universität dürfen wir schon in den nächsten Wochen wieder die Eröffnung zweier grosser, dem naturwissenschaftlichen Unterrichte gewidmeten Institute erwarten.

Die freie Ueberzeugung der Schüler ist nur zu gewinnen, wenn der freie Ausdruck der Ueberzeugung des Lehrers gesichert ist, die Lehrfreiheit. Diese ist nicht immer geschützt gewesen, ebenso wenig in Deutschland wie in den Nachbarländern. In Zeiten politischer und kirchlicher Kämpfe haben sich die herrschenden Parteien oft genug Eingriffe erlaubt; von der deutschen Nation sind solche immer als Eingriffe in ein Heiligthum empfunden worden. Die vorgeschrittene politische Freiheit des neuen Deutschen Reiches hat auch hierfür Heilung gebracht. In diesem Augenblicke können auf deutschen Universitäten die extremsten Consequenzen materialistischer Metaphysik, die kühnsten Speculationen auf dem Boden von Darwin's Evolutionstheorie ebenso ungehindert, wie die extremste Vergötterung päpstlicher Unfehlbarkeit, vorgetragen werden. Wie auf der Tribüne der europäischen Parlamente bleiben Verdächtigungen der Motive, Schmähungen der persönlichen Eigenschaften der Gegner — beides Mittel, welche mit der Entscheidung wissenschaftlicher Sätze offenbar nichts zu thun haben — untersagt; ebenso jede Aufforderung zur Ausführung gesetzlich verbotener Handlungen. Aber es besteht kein Hinderniss, irgend welche wissenschaftliche Streitfrage wissenschaftlich zu discutiren. Auf englischen und französischen Universitäten ist von Lehrfreiheit in diesem Sinne nicht die Rede. Selbst am Collège de France sind und bleiben die Vorträge eines Mannes von Ernest Renan's wissenschaftlicher Bedeutung unter dem Interdict, und die Tutors der englischen Universitäten dürfen nicht um eines Haares Breite von dem dogmatischen System der englischen

Kirche abweichen, ohne sich der Censur ihrer Erzbischöfe[1]) auszusetzen und ihre Schüler zu verlieren.

Noch über eine andere Seite unserer Lehrfreiheit habe ich zu sprechen. Das ist die Ausdehnung, welche Deutschlands Universitäten in der Zulassung der Lehrer bewahrt haben. Nach dem ursprünglichen Sinne des Wortes ist „Doctor“ ein „Lehrer“, oder Jemand, dessen Fähigkeit als Lehrer anerkannt ist. An den mittelalterlichen Universitäten konnte jeder Doctor, welcher Schüler fand, auch als Lehrer auftreten. Der Lauf der Zeiten änderte die praktische Bedeutung des Titels. Die meisten, welche ihn erstrebten, brauchten ihn nur als öffentliche Anerkennung ihrer wissenschaftlichen Bildung und beabsichtigten nicht als Lehrer zu wirken. Nur in Deutschland ist ein Theil jenes alten Rechtes stehen geblieben. Der veränderten Bedeutung des Doctortitels und der weiter gegangenen Specialisirung der Unterrichtsfächer entsprechend, wird allerdings von denjenigen Doctoren, welche das Recht des Unterrichts ausüben wollen, noch ein besonderer Nachweis tiefer gehender wissenschaftlicher Leistungen in dem besonderen Fache verlangt, für welches sie sich habilitiren wollen. An den meisten deutschen Universitäten ist die gesetzliche Berechtigung dieser habilitirten Doctoren, als Lehrer, genau dieselbe wie die der Ordinarien. An wenigen Orten sind einzelne beschränkende Bestimmungen für sie geltend, die kaum erhebliche praktische Tragweite haben. Nur in sofern sind die älteren Lehrer der Universität, namentlich die ordentlichen Professoren, thatsächlich begünstigt, als sie einerseits in denjenigen Fächern, welche äusseren Apparates für den Unterricht bedürfen, die freiere Verfügung über die Mittel der Staatsinstitute haben und ihnen andererseits gesetzlich die Abhaltung der Facultätsexamina, oft auch der Staatsexamina zufällt. Dies übt einen gewissen Druck auf die schwächeren Gemüther unter den Studirenden. Uebrigens ist der Einfluss der Examina häufig übertrieben worden. Bei dem vielen Hin- und Herziehen unserer Studirenden findet eine grosse Zahl von Prüfungen vor Examinatoren statt, deren Vorlesungen die Examinanden niemals gehört haben.

Ueber keine Seite unserer Universitätseinrichtungen pflegen Ausländer ihre Verwunderung so lebhaft auszusprechen, als über

---

[1]) Diese Censur hat zwar keine amtliche, aber eine sehr grosse gesellschaftliche Wirksamkeit.

die Zuziehung der Privatdocenten. Man staunt und man beneidet uns, dass sich jüngere Männer in so grosser Anzahl finden, welche ohne Gehalt, bei meist sehr unbedeutenden Honorareinnahmen und recht unsicheren Aussichten in die Zukunft, sich anstrengender wissenschaftlicher Arbeit widmen. Und indem man vom Standpunkt irdisch praktischer Interessen aus urtheilt, verwundert man sich ebenso, dass die Facultäten bereitwillig eine solche Zahl junger Männer zulassen, welche sich in jedem Augenblick aus Helfern in Concurrenten verwandeln können; wie auch darüber, dass man nur in seltensten Ausnahmefällen von der Anwendung schlechter Concurrenzmittel in diesem einigermaassen delicaten Verhältnisse hört.

Wie die Zulassung der Privatdocenten hängt auch die Neubesetzung der erledigten Professuren, wenn auch nicht unbedingt und nicht in letzter Instanz, von der Facultät, d. h. der Versammlung der ordentlichen Professoren ab. Diese bilden an den deutschen Universitäten denjenigen Rest der ehemaligen Doctorencollegien, auf welchen die alten Corporationsrechte übergegangen sind. Sie bilden gleichsam einen unter Mitwirkung der Regierungen constituirten, engeren Ausschuss der Graduirten der alten Zeit. Es ist die üblichste Form für die Ernennung neuer Ordinarien, dass die Facultät der Regierung drei Candidaten zur Wahl und Berufung vorschlägt, wobei die Regierung sich freilich nicht unbedingt an die vorgeschlagenen Candidaten gebunden betrachtet. Uebergehungen der Facultätsvorschläge haben indessen zu den Seltenheiten gehört, Zeiten erhitzter Parteikämpfe abgerechnet. Wenn nicht sehr augenfällige Bedenken vorliegen, ist es für die ausführenden Beamten immerhin eine unangenehme persönliche Verantwortlichkeit, den Vorschlägen der sachverständigen Corporation entgegen einen Lehrer zu berufen, dessen Fähigkeiten sich öffentlich vor breiten Kreisen bewähren müssen.

Die Facultätsgenossen aber haben die stärksten Motive, für die Ausrüstung ihrer Facultät mit möglichst tüchtigen Lehrkräften zu sorgen. Um freudig für die Vorlesungen arbeiten zu können, ist das Bewusstsein, eine nicht zu kleine Anzahl intelligenter Zuhörer vor sich zu haben, die wesentlichste Bedingung. Ausserdem ist für viele Lehrer ein erheblicher Bruchtheil ihres Einkommens von der Frequenz ihrer Zuhörer abhängig gemacht. Jeder Einzelne muss also wünschen, dass seine Facultät als Ganzes genommen möglichst viele und möglichst intelligente

Studirende heranziehe. Das ist aber nur durch eine Auswahl möglichst tüchtiger Lehrer, seien es Professoren oder Docenten, zu erreichen. Andererseits kann auch das Bemühen, die Zuhörer zu kräftiger und selbständiger Arbeit anzuregen, nur dann Erfolg haben, wenn dasselbe auch von den anderen Facultätsgenossen unterstützt wird. Dazu kommt, dass das Zusammenwirken mit ausgezeichneten Collegen das Leben in den Universitätskreisen sehr interessant, belehrend und angeregt macht. Eine Facultät müsste schon sehr herunter gekommen sein, sie müsste nicht bloss das Gefühl ihrer Würde, sondern auch die gemeinste irdische Klugheit verloren haben, wenn neben diesen Motiven sich andere geltend machen könnten, und eine solche würde sich schnell ganz ruiniren.

Was das Gespenst der Rivalität zwischen den Universitätslehrern betrifft, mit dem man die öffentliche Meinung zuweilen zu schrecken sucht, so kann eine solche nicht zu Stande kommen, wenn die Lehrer und die Studirenden von rechter Art sind. Zunächst kommt es nur an grösseren Universitäten vor, dass ein und dasselbe Fach doppelt besetzt ist, und selbst wenn in der amtlichen Definition des Faches kein Unterschied besteht, wird ein solcher zwischen den wissenschaftlichen Richtungen der Lehrer vorhanden sein; sie werden sich in ihrer Arbeit so theilen können, dass jeder die Seite vertritt, die er am besten beherrscht. Zwei ausgezeichnete Lehrer, welche sich in solcher Weise ergänzen, bilden dann ein so starkes Anziehungscentrum für die Studirenden des Faches, dass keiner von beiden Einbusse an Zuhörern erleidet, wenn sie sich auch in eine Anzahl der weniger eifrigen theilen müssen.

Allerdings werden unerfreuliche Wirkungen der Rivalität überall da zu fürchten sein, wo der eine oder andere der Lehrer sich in seiner wissenschaftlichen Stellung nicht ganz sicher fühlt. Auf die amtlichen Entscheidungen der Facultäten hat auch dies keinen erheblichen Einfluss, so lange es sich nur um Einen oder eine kleine Anzahl der Stimmenden handelt.

Verhängnissvoller als solche persönliche Interessen kann die Herrschaft einer bestimmten wissenschaftlichen Schule über eine Facultät werden. Man muss dann darauf rechnen, dass die Studirenden sich anderen Universitäten zuwenden werden, wenn diese Schule sich wissenschaftlich überlebt hat. Darüber kann allerdings ziemlich viel Zeit vergehen, und die betreffende Facultät kann für lange Zeit gelähmt werden.

Wie sehr die Universitäten unter diesem System im Stande waren, die wissenschaftlichen Köpfe Deutschlands an sich zu ziehen, zeigt sich am besten an der geringen Zahl bahnbrechender Männer, welche ausserhalb der Universitäten übrig geblieben sind. Ein Beweis dafür liegt schon darin, dass gelegentlich darüber gescherzt oder gespottet werden kann, wie in Deutschland alle Wissenschaft Professorenweisheit sei. Blickt man auf England, so stösst man sogleich auf Männer, wie Humphrey Davy, Faraday, Darwin, Grote, welche keinerlei Verbindung mit englischen Universitäten gehabt haben. Zieht man dagegen von den deutschen Forschern diejenigen ab, welche von den Regierungen aus kirchlichen oder politischen Gründen fortgedrängt wurden, wie David Strauss, und diejenigen, welche als Mitglieder deutscher Akademien das Recht hatten, Vorlesungen an den Universitäten zu halten, wie Alexander und Wilhelm v. Humboldt, Leopold v. Buch u. a. m., so wird die Zahl der Uebrigbleibenden nur ein kleiner Bruchtheil sein von der Zahl derjenigen Männer gleichen wissenschaftlichen Gewichts, die an den Universitäten gewirkt haben; die gleiche Zählung würde in England das entgegengesetzte Ergebniss liefern. Es ist mir namentlich auffallend gewesen, dass die Royal Institution in London, ein privater Verein, der kürzere Kurse von Vorlesungen über Fortschritte in den Naturwissenschaften für seine Mitglieder und andere Erwachsene halten lässt, Männer von solcher wissenschaftlichen Bedeutung wie Humphrey Davy und Faraday als Vortragende dauernd an sich fesseln konnte. Von Aufwendung grosser Honorare war dabei gar keine Rede; offenbar waren diese Männer durch den aus geistig selbständigen Männern und Frauen bestehenden Zuhörerkreis angezogen. In Deutschland sind unverkennbar die Universitäten noch immer diejenigen Lehranstalten, welche auch auf die Lehrenden die stärkste Anziehungskraft ausüben. Diese Anziehungskraft beruht darauf, dass der Lehrer hoffen kann, an der Universität nicht nur gut vorbereitete, an Arbeit gewöhnte und begeisterungsfähige Zuhörer zu finden, sondern auch solche, die das Bedürfniss nach Bildung einer selbständigen Ueberzeugung haben. Nur eine solche kann die Erkenntniss des Lehrers auch im Schüler wieder fruchtbar machen.

So zieht sich durch die ganze Organisation unserer Universitäten die Achtung vor der freien selbständigen Ueberzeugung, die den Deutschen fester eingeprägt ist als ihren arischen Ver-

wandten romanischen und celtischen Stammes. Bei diesen wiegen politisch praktische Motive schwerer. Sie bringen es fertig, wie es scheint in aller Aufrichtigkeit, den forschenden Gedanken von der Untersuchung solcher Sätze zurückzuhalten, welche ihnen als nothwendiges Fundament ihrer politischen, socialen und religiösen Organisation undiscutirbar erscheinen; sie finden es vollständig gerechtfertigt, ihre jungen Männer nicht über die Grenze hinausschauen zu lassen, die sie selbst nicht Willens sind zu überschreiten.

Will man aber irgend ein Gebiet von Fragen als undiscutirbar festhalten, sei es noch so fernliegend und eng begrenzt, sei die Absicht noch so wohlmeinend, so muss man die Lernenden auf vorgeschriebenem Wege festhalten und muss Lehrer anwenden, die sich gegen Autorität nicht auflehnen. Von freier Ueberzeugung kann dann nur noch in bedingter Weise die Rede sein.

Sie sehen, wie anders unsere Altvorderen verfuhren. So gewaltsam sie gelegentlich gegen einzelne Ergebnisse des wissenschaftlichen Forschens eingeschritten sind, die Wurzel haben sie nicht abschneiden wollen; ein Meinen, welches nicht auf selbstständiger Ueberzeugung beruhte, ist ihnen doch im Grunde werthlos erschienen. In ihrem innersten Herzen haben sie das Vertrauen nicht fallen lassen, dass die Freiheit allein die Missgriffe der Freiheit und dass das reifere Wissen die Irrthümer des unreiferen heben könne. Derselbe Sinn, welcher das Joch der römischen Kirche abwarf, hat auch die deutschen Universitäten organisirt.

Aber jede Institution, welche auf Freiheit gegründet ist, muss auch auf die Urtheilskraft und Vernunft derjenigen rechnen, welchen man die Freiheit gewährt. Abgesehen von den schon früher erwähnten Punkten, wo auf das eigene Urtheil der Studirenden betreffs der Wahl ihres Studienganges und ihrer Lehrer gerechnet ist, zeigen die zuletzt angestellten Ueberlegungen, wie die Studirenden auch auf ihre Lehrer zurückwirken. Ein Colleg gut durchzuführen ist eine grosse Arbeit, die sich in jedem Semester erneuert. Fortdauernd kommt Neues hinzu, unter dessen Einfluss auch das Alte aus neuen Gesichtspunkten zu betrachten und neu zu ordnen ist. Der Lehrer würde in dieser Arbeit bald entmuthigt sein, wenn ihm nicht der Eifer und das Interesse seiner Zuhörer entgegenkäme. Wie hoch er seine Aufgabe fassen kann, wird davon abhängen, wie weit ihm das Ver-

ständniss einer hinreichenden Anzahl der intelligenteren Zuhörer nachkommt. Ja der Zudrang der Zuhörer zu den Vorlesungen eines Lehrers hat nicht geringen Einfluss auf Berufungen oder Beförderungen desselben, also auf die Zusammensetzung des Lehrerkreises. In allen diesen Beziehungen ist darauf gerechnet, dass der Gesammtstrom der öffentlichen Meinung unter den Studirenden nicht dauernd irre gehen könne. Die Majorität derselben, gleichsam der Träger des gemeinsamen Urtheils, muss zu uns kommen mit hinreichend logisch geschultem Verstande, mit hinreichender Gewöhnung an geistige Anstrengung, mit einem an den besten Mustern genügend entwickelten Tact, um Wahrheit von dem phrasenhaften Schein der Wahrheit zu unterscheiden. Unter den Studirenden sind schon die intelligenten Köpfe vorhanden, welche die geistigen Lenker der nächsten Generation sein und vielleicht in wenigen Jahren die Augen der Welt auf sich ziehen werden. Sie sind es hauptsächlich, welche die öffentliche Meinung ihrer Commilitonen in wissenschaftlichen Dingen bestimmen, nach denen sich die Anderen unwillkürlich richten. Zeitweilige Irrungen bei jugendlich unerfahrenen und erregbaren Gemüthern kommen natürlich vor; aber im Ganzen darf man ziemlich sicher darauf rechnen, dass sie bald wieder das Rechte zu finden wissen.

So haben die Gymnasien sie uns bisher gesendet. Es wäre sehr gefährlich für die Universitäten, wenn ihnen grosse Mengen von Schülern zuströmten, die in den genannten Beziehungen weniger entwickelt wären. Das allgemeine Standesbewusstsein der Studirenden darf nicht sinken. Wenn das geschähe, würden die Gefahren der akademischen Freiheit ihren Segen überwuchern. Man muss es demnach nicht Pedanterie oder Hochmuth schelten, wenn die Universitäten bei Zulassung von Schülern eines anderen Bildungsganges bedenklich sind. Noch gefährlicher freilich wäre es, wenn in die Facultäten aus irgend welchen äusseren Gründen Lehrer eingeschoben würden, welche nicht die volle Qualification der wissenschaftlich selbständigen akademischen Lehrer haben.

Vergessen Sie also nicht, theure Commilitonen, dass Sie an einer verantwortlichen Stelle stehen. Das edle Vermächtniss, von dem ich Ihnen sprach, haben Sie nicht nur Ihrem eigenen Volke zu wahren, sondern als ein Vorbild auch weiten Kreisen der Menschheit. Sie sollen zeigen, dass auch die Jugend sich für die Selbständigkeit der Ueberzeugung zu begeistern und dafür zu arbeiten weiss. Ich sage arbeiten; denn Selbständigkeit der

Ueberzeugung ist nicht leichtsinnige Annahme ungeprüfter Hypothesen, sondern kann nur als die Frucht gewissenhafter Prüfung und entschlossener Arbeit errungen werden. Sie sollen zeigen, dass die selbst erarbeitete Ueberzeugung ein fruchtbarerer Keim neuer Einsicht und eine bessere Richtschnur des Handelns ist, als die wohlmeinendste Leitung durch Autorität. Deutschland, welches im 16. Jahrhundert zuerst für das Recht solcher Ueberzeugung aufgestanden ist und dafür als Blutzeuge gelitten hat, steht noch im Vorrang dieses Kampfes. Ihm ist eine erhabene weltgeschichtliche Aufgabe zugefallen, und Sie sind jetzt berufen, daran mitzuarbeiten.

Die Thatsachen in der Wahrnehmung

Rede
gehalten zur Stiftungsfeier der Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Berlin
1878

Hochgeehrte Versammlung!

Wir feiern heute das Stiftungsfest unserer Universität an dem Jahrestage der Geburt ihres Stifters, des vielgeprüften Königs Friedrich Wilhelm III. Das Jahr dieser Stiftung 1810 fiel in die Zeit der grössten äusseren Bedrängniss unseres Staates; ein erheblicher Theil des Gebietes war verloren, das Land durch den vorausgegangenen Krieg und die feindliche Besetzung erschöpft; der kriegerische Stolz, der ihm aus den Zeiten des grossen Kurfürsten und des grossen Königs geblieben, war tief gedemüthigt. Und doch erscheint uns jetzt, wenn wir rückwärts blicken, dieselbe Zeit so reich an Gütern geistiger Art, an Begeisterung, Energie, idealen Hoffnungen und schöpferischen Gedanken, dass wir trotz der verhältnissmässig glänzenden äusseren Lage, in der heute Staat und Nation sich befinden, fast mit Neid auf jene Periode zurücksehen möchten. Dass der König in der bedrängten Lage vor anderen materiellen Anforderungen zunächst an die Gründung der Universität dachte, dass er dann Thron und Leben auf das Spiel setzte, um sich der entschlossenen Begeisterung der Nation im Kampfe gegen den Ueberwinder anzuvertrauen, zeigt, wie tief auch bei ihm, dem schlichten, lebhaften Gefühlsäusserungen abgeneigten Manne, das Vertrauen auf die geistigen Kräfte seine Volkes wirkte.

Eine stattliche Reihe ruhmwürdiger Namen hatte Deutschland damals in der Kunst, wie in der Wissenschaft aufzuweisen, Namen, deren Träger in der Geschichte menschlicher Geistesbildung zum Theil zu den Ersten aller Zeiten und Völker zu zählen sind.

Es lebte Goethe und lebte Beethoven; Schiller, Kant, Herder und Haydn hatten noch die ersten Jahre des Jahrhunderts erlebt. Wilhelm von Humboldt entwarf die neue Wissenschaft der vergleichenden Sprachkunde, Niebuhr, Fr. Aug. Wolf, Savigny, lehrten alte Geschichte, Poesie und Recht

mit lebendigem Verständniss durchdringen, Schleiermacher suchte den geistigen Inhalt der Religion tiefsinnig zu erfassen und Joh. Gottlieb Fichte, der zweite Rector unserer Universität, der gewaltige unerschrockene Redner, riss seine Zuhörerschaft fort durch den Strom seiner sittlichen Begeisterung und den kühnen Gedankenflug seines Idealismus.

Selbst die Abirrungen dieser Sinnesweise, die sich in den leicht erkennbaren Schwächen der Romantik aussprechen, haben etwas Anziehendes dem trocken rechnenden Egoismus gegenüber. Man bewunderte sich selbst in den schönen Gefühlen, in denen man zu schwelgen wusste; man suchte die Kunst, solche Gefühle zu haben, auszubilden; man glaubte die Phantasie um so mehr als schöpferische Kraft bewundern zu dürfen, je mehr sie sich von den Regeln des Verstandes losgemacht hatte. Darin steckte viel Eitelkeit, aber immerhin war es eine Eitelkeit, die für hohe Ideale schwärmte.

Die Aelteren unter uns haben noch die Männer jener Periode gekannt, die einst als die ersten Freiwilligen in das Heer traten, stets bereit, sich in die Erörterung metaphysischer Probleme zu versenken, wohlbelesen in den Werken der grossen Dichter Deutschlands, noch glühend von Zorn, wenn vom ersten Napoleon, von Begeisterung und Stolz, wenn von den Thaten des Befreiungskrieges die Rede war.

Wie ist es anders geworden! Das mögen wir wohl erstaunt ausrufen in einer Zeit, wo sich die cynische Verachtung aller idealen Güter des Menschengeschlechts auf den Strassen und in der Presse breit macht, und in zwei scheusslichen Verbrechen gegipfelt hat, welche das Haupt unseres Kaisers offenbar nur deshalb zu ihrem Ziele wählten, weil in ihm sich Alles vereinigte, was die Menschheit bisher als würdig der Verehrung und der Dankbarkeit betrachtet hat.

Fast mit Mühe müssen wir uns daran erinnern, dass erst acht Jahre verflossen sind seit der grossen Stunde, wo alle Stände unseres Volkes auf den Ruf desselben Monarchen ohne Zaudern, voll opferfreudiger und begeisterter Vaterlandsliebe in einen gefährlichen Krieg zogen gegen einen Gegner, dessen Macht und Tapferkeit uns nicht unbekannt war. Fast mit Mühe müssen wir des breiten Spielraums gedenken, den die politischen und humanen Bestrebungen, auch den ärmeren Ständen unseres Volkes ein sorgenfreieres und menschenwürdigeres Dasein zu bereiten, in der Thätigkeit und in den Gedanken der gebildeten Klassen

eingenommen haben, daran denken, wie sehr ihr Loos in materieller und rechtlicher Beziehung wirklich gebessert ist.

Es scheint die Art der Menschheit einmal zu sein, dass neben viel Licht immer viel Schatten zu finden ist; politische Freiheit giebt zunächst den gemeinen Motiven mehr Schrankenlosigkeit sich zu zeigen und sich gegenseitig Muth zu machen, so lange ihnen nicht eine zu energischem Widerspruch gerüstete öffentliche Meinung gegenübersteht. Auch in den Jahren vor dem Befreiungskriege, als Fichte seinem Zeitalter Busspredigten hielt, fehlten diese Elemente nicht. Er schildert Zustände und Gesinnungen als herrschend, die an die schlimmsten unserer Zeit erinnern. „Das gegenwärtige Zeitalter stellt in seinem Grundprincip sich hin hochmüthig herabsehend auf diejenigen, die durch einen Traum von Tugend sich Genüsse entwinden lassen, und seiner sich freuend, dass es über solche Dinge hinweg sei, und in dieser Weise sich nichts aufbinden lasse“ [1]). Die einzige Freude, die über das rein Sinnliche hinausgehe, welche den Repräsentanten des Zeitalters bekannt sei, nennt er „das Laben an der eigenen Pfiffigkeit“. Und doch bereitete sich in dieser selben Zeit ein mächtiger Aufschwung vor, der zu den ruhmreichsten Ereignissen unserer Geschichte gehört.

Wenn wir also unsere Zeit auch nicht für hoffnungslos verloren zu halten brauchen, so dürfen wir uns doch nicht allzu leichtfertig mit dem Troste beruhigen, dass es in anderen Zeiten eben nicht besser war als jetzt. Immerhin ist es rathsam, dass bei so bedenklichen Vorgängen ein Jeder in dem Kreise, in dem er zu arbeiten hat und den er kennt, Umschau halte, wie es mit der Arbeit für die ewigen Ziele der Menschheit bestellt ist, ob sie im Auge gehalten werden, ob man sich ihnen genähert habe. Im Jugendzeitalter unserer Universität war auch die Wissenschaft jugendlich kühn und hoffnungskräftig, ihr Auge war vorzugsweise den höchsten Zielen zugewendet. Wenn diese auch nicht so leicht zu erreichen waren, wie jene Generation hoffte, wenn sich auch zeigte, dass weitläuftige Einzelarbeit den Weg dahin vorbereiten musste, und somit durch die Natur der Aufgaben selbst zunächst eine andere weniger enthusiastische, weniger unmittelbar den idealen Zielen zugewendete Art der Arbeit gefordert wurde, so wäre es doch zweifellos ein Verderben, wenn unsere Generation über den untergeordneten und praktisch nützlichen

---

[1]) Fichte's Werke VII, S. 40.

Aufgaben die ewigen Ideale der Menschheit aus dem Auge verloren haben sollte.

Das Grundproblem, welches jene Zeit an den Anfang aller Wissenschaft stellte, war das der Erkenntnisstheorie: „Was ist Wahrheit in unserem Anschauen und Denken? in welchem Sinne entsprechen unsere Vorstellungen der Wirklichkeit?“ Auf dieses Problem stossen Philosophie und Naturwissenschaft von zwei entgegengesetzten Seiten; es ist eine gemeinsame Aufgabe beider. Die erstere, welche die geistige Seite betrachtet, sucht aus unserem Wissen und Vorstellen auszuscheiden, was aus den Einwirkungen der Körperwelt herrührt, um rein hinzustellen, was der eigenen Thätigkeit des Geistes angehört. Die Naturwissenschaft im Gegentheil sucht abzuscheiden, was Definition, Bezeichnung, Vorstellungsform, Hypothese ist, um rein übrig zu behalten, was der Welt der Wirklichkeit angehört, deren Gesetze sie sucht. Beide suchen dieselbe Scheidung zu vollziehen, wenn auch jede für einen anderen Theil des Geschiedenen interessirt ist. In der Theorie der Sinneswahrnehmungen und in den Untersuchungen über die Grundprincipien der Geometrie, Mechanik, Physik kann auch der Naturforscher diesen Fragen nicht aus dem Wege gehen. Da meine eigenen Arbeiten vielfach in beide Gebiete eingetreten sind, so will ich versuchen, Ihnen einen Ueberblick von dem zu geben, was von Seiten der Naturforschung in dieser Richtung gethan ist. Natürlich sind schliesslich die Gesetze des Denkens bei den naturforschenden Menschen keine anderen als bei den philosophirenden. In allen Fällen, wo die Thatsachen der täglichen Erfahrung, deren Fülle doch schon sehr gross ist, hinreichten, um einem scharfsinnigen Denker von unbefangenem Wahrheitsgefühl einigermaassen genügendes Material für ein richtiges Urtheil zu geben, muss der Naturforscher sich damit begnügen, anzuerkennen, dass die methodisch vollendete Sammlung der Erfahrungsthatsachen das früher gewonnene Resultat einfach bestätigt. Aber es kommen auch gegentheilige Fälle vor. Dies als Entschuldigung dafür, — wenn es entschuldigt werden muss, — dass im Folgenden nicht überall neue, sondern grossentheils längst gegebene Antworten auf die betreffenden Fragen wieder gegeben werden. Oft genug gewinnt ja auch ein alter Begriff, an neuen Thatsachen gemessen, eine lebhaftere Beleuchtung und ein neues Ansehen.

Kurz vor dem Beginn des neuen Jahrhunderts hatte Kant die Lehre von den vor aller Erfahrung gegebenen, oder wie er

sie deshalb nannte „transcendentalen“ Formen des Anschauens und Denkens ausgebildet, in welche aller Inhalt unseres Vorstellens nothwendig aufgenommen werden muss, wenn er zur Vorstellung werden soll. Für die Qualitäten der Empfindung hatte schon Locke den Antheil geltend gemacht, den unsere körperliche und geistige Organisation an der Art hat, wie die Dinge uns erscheinen. In dieser Richtung nun haben die Untersuchungen über die Physiologie der Sinne, welche namentlich Johannes Müller vervollständigte, kritisch sichtete und dann in das Gesetz von den specifischen Energien der Sinnesnerven zusammenfasste, die vollste Bestätigung, man kann fast sagen in einem unerwarteten Grade, gebracht und dadurch zugleich das Wesen und die Bedeutung einer solchen von vorn herein gegebenen, subjectiven Form des Empfindens in sehr entscheidender und greifbarer Weise dargelegt und anschaulich gemacht. Dieses Thema ist schon oft besprochen worden; ich kann mich deshalb heute darüber kurz fassen.

Zwischen den Sinnesempfindungen verschiedener Art kommen zwei verschiedene Grade des Unterschieds vor. Der am tiefsten eingreifende ist der Unterschied zwischen Empfindungen, die verschiedenen Sinnen angehören, wie zwischen blau, süss, warm, hochtönend; ich habe mir erlaubt, diesen als Unterschied in der Modalität der Empfindung zu bezeichnen. Er ist so eingreifend, dass er jeden Uebergang vom einen zum anderen, jedes Verhältniss grösserer oder geringerer Aehnlichkeit ausschliesst. Ob z. B. Süss dem Blau oder Roth ähnlicher sei, kann man gar nicht fragen. Die zweite Art des Unterschieds dagegen, die minder eingreifende, ist die zwischen verschiedenen Empfindungen desselben Sinnes; ich beschränke auf ihn die Bezeichnung eines Unterschiedes der Qualität. Fichte fasst diese Qualitäten je eines Sinnes zusammen als Qualitätenkreis, und bezeichnet, was ich eben Unterschied der Modalität nannte, als Unterschied der Qualitätenkreise. Innerhalb jedes solchen Kreises ist Uebergang und Vergleichung möglich. Von Blau können wir durch Violett und Carminroth in Scharlachroth übergehen, und z. B. aussagen, dass Gelb dem Orangeroth ähnlicher sei als dem Blau. Die physiologischen Untersuchungen lehren nun, dass jener tief eingreifende Unterschied ganz und gar nicht abhängt von der Art des äusseren Eindrucks, durch den die Empfindung erregt ist, sondern ganz allein und ausschliesslich bestimmt wird durch den Sinnesnerven, der von dem Eindrucke

getroffen werden ist. Erregung des Sehnerven erzeugt nur Lichtempfindungen, gleichviel ob er nun von objectivem Licht, d. h. von Aetherschwingungen, getroffen werde oder von elektrischen Strömen, die man durch das Auge leitet, oder von Druck auf den Augapfel, oder von Zerrung des Nervenstammes bei schneller Bewegung des Blickes. Die Empfindung, die bei den letzteren Einwirkungen entsteht, ist der des objectiven Lichtes so ähnlich, dass man lange Zeit an eine wirkliche Lichtentwickelung im Auge geglaubt hat. Johannes Müller zeigte, dass eine solche durchaus nicht stattfinde, dass eben nur die Empfindung des Lichtes da sei, weil der Sehnerv erregt werde.

Wie nun einerseits jeder Sinnesnerv, durch die mannigfachsten Einwirkungen erregt, immer nur Empfindungen aus dem ihm eigenthümlichen Qualitätenkreise giebt: so erzeugen andererseits dieselben äusseren Einwirkungen, wenn sie verschiedene Sinnesnerven treffen, die verschiedenartigsten Empfindungen, diese immer entnommen aus dem Qualitätenkreise des betreffenden Nerven. Dieselben Aetherschwingungen, welche das Auge als Licht fühlt, fühlt die Haut als Wärme. Dieselben Luftschwingungen, welche die Haut als Schwirren fühlt, fühlt das Ohr als Ton. Hier ist wiederum die Verschiedenartigkeit des Eindruckes so gross, dass die Physiker sich bei der Vorstellung, Agentien, die so verschieden erschienen wie Licht und strahlende Wärme, seien gleichartig und zum Theil identisch, erst beruhigten, nachdem durch mühsame Experimentaluntersuchungen nach allen Richtungen hin die vollständige Gleichartigkeit ihres physikalischen Verhaltens festgestellt war.

Aber auch innerhalb des Qualitätenkreises jedes einzelnen Sinnes, wo die Art des einwirkenden Objectes die Qualität der erzeugten Empfindung wenigstens mitbestimmt, kommen noch die unerwartetsten Incongruenzen vor. Lehrreich ist in dieser Beziehung die Vergleichung von Auge und Ohr, da die Objecte beider, Licht und Schall, schwingende Bewegungen sind, die je nach der Schnelligkeit ihrer Schwingungen verschiedene Empfindungen erregen, im Auge verschiedener Farben, im Ohr verschiedener Tonhöhen. Wenn wir uns zur grösseren Uebersichtlichkeit erlauben, die Schwingungsverhältnisse des Lichtes mit den Namen der durch entsprechende Tonschwingungen gebildeten musikalischen Intervalle zu bezeichnen, so ergiebt sich Folgendes: Das Ohr empfindet etwa 10 Octaven verschiedener Töne, das Auge nur eine Sexte, obgleich die jenseits dieser Grenzen liegen-

den Schwingungen beim Schall wie beim Lichte vorkommen und physikalisch nachgewissen werden können. Das Auge hat nur drei von einander verschiedene Grundempfindungen in seiner kurzen Scala, aus denen sich alle seine Qualitäten durch Addition zusammensetzen, nämlich Roth, Grün, Blauviolett. Diese mischen sich in der Empfindung, ohne sich zu stören. Das Ohr dagegen unterscheidet eine ungeheure Zahl von Tönen verschiedener Höhe. Kein Accord klingt gleich einem anderen Accorde, der aus anderen Tönen zusammengesetzt ist, während doch beim Auge gerade das Analoge der Fall ist; denn gleich aussehendes Weiss kann hervorgebracht werden durch Roth und Grünblau des Spectrum, durch Gelb und Ultramarinblau, durch Grüngelb und Violett, durch Grün, Roth und Violett, oder durch je zwei, drei oder alle diese Mischungen zusammen. Wären im Ohre die Verhältnisse die gleichen, so wäre gleichtönend der Zusammenklang C und F mit D und G, mit E und A, oder mit C, D, E, F, G, A u. s. w. Und, was in Bezug auf die objective Bedeutung der Farbe bemerkenswerth ist: ausser der Wirkung auf das Auge hat noch keine einzige physikalische Beziehung aufgefunden werden können, in der gleich aussehendes Licht regelmässig gleichwerthig wäre. Endlich hängt die ganze Grundlage der musikalischen Wirkung der Consonanz und Dissonanz von dem eigenthümlichen Phänomen der Schwebungen ab. Diese beruhen auf einem schnellen Wechsel in der Intensität des Tones, welcher dadurch entsteht, dass zwei nahe gleich hohe Töne abwechselnd mit gleichen und entgegengesetzten Phasen zusammen wirken, und dem gemäss bald starke, bald schwache Schwingungen der mitschwingenden Körper erregen. Das physikalische Phänomen würde beim Zusammenwirken zweier Lichtwellenzüge ganz ebenso vorkommen können, wie beim Zusammenwirken zweier Tonwellenzüge. Aber der Nerv muss erstens fähig sein, von beiden Wellenzügen afficirt zu werden, und zweitens muss er dem Wechsel von starker und schwacher Intensität schnell genug folgen können. In letzterer Beziehung ist der Gehörnerv dem Sehnerven erheblich überlegen. Gleichzeitig ist jede Faser des Hörnerven nur für Töne aus einem engen Intervall der Scala empfindlich, so dass nur ganz nahe gelegene Töne in ihr überhaupt zusammen wirken können, weit von einander entfernte nicht oder nicht unmittelbar. Wenn sie es thun, so rührt dies von begleitenden Obertönen oder Combinationstönen her. Daher tritt beim Ohr dieser Unterschied von schwirrendem und nicht schwirrendem Intervalle, d. h. von Con-

sonanz und Dissonanz ein. Jede Sehnervenfaser dagegen empfindet durch das ganze Spectrum, wenn auch verschieden stark in verschiedenen Theilen. Könnte der Sehnerv überhaupt den ungeheuer schnellen Schwebungen der Lichtoscillationen in der Empfindung folgen, so würde jede Mischfarbe als Dissonanz wirken.

Sie sehen, wie alle diese Unterschiede in der Wirkungsweise von Licht und Ton bedingt sind durch die Art, wie der Nervenapparat gegen sie reagirt.

Unsere Empfindungen sind eben Wirkungen, welche durch äussere Ursachen in unseren Organen hervorgebracht werden, und wie eine solche Wirkung sich äussert, hängt natürlich ganz wesentlich von der Art des Apparates ab, auf den gewirkt wird. Insofern die Qualität unserer Empfindung uns von der Eigenthümlichkeit der äusseren Einwirkung, durch welche sie erregt ist, eine Nachricht giebt, kann sie als ein Zeichen derselben gelten, aber nicht als ein Abbild. Denn vom Bilde verlangt man irgend eine Art der Gleichheit mit dem abgebildeten Gegenstande, von einer Statue Gleichheit der Form, von einer Zeichnung Gleichheit der perspectivischen Projection im Gesichtsfelde, von einem Gemälde auch noch Gleichheit der Farben. Ein Zeichen aber braucht gar keine Art der Aehnlichkeit mit dem zu haben, dessen Zeichen es ist. Die Beziehung zwischen beiden beschränkt sich darauf, dass das gleiche Object, unter gleichen Umständen zur Einwirkung kommend, das gleiche Zeichen hervorruft, und dass also ungleiche Zeichen immer ungleicher Einwirkung entsprechen.

Der populären Meinung gegenüber, welche auf Treu und Glauben die volle Wahrheit der Bilder annimmt, die uns unsere Sinne von den Dingen liefern, mag dieser Rest von Aehnlichkeit, den wir anerkennen, sehr geringfügig erscheinen. In Wahrheit ist er es nicht; denn mit ihm kann noch eine Sache von der allergrössesten Tragweite geleistet werden, nämlich die Abbildung der Gesetzmässigkeit in den Vorgängen der wirklichen Welt. Jedes Naturgesetz sagt aus, dass auf Vorbedingungen, die in gewisser Beziehung gleich sind, immer Folgen eintreten, die in gewisser anderer Beziehung gleich sind. Da Gleiches in unserer Empfindungswelt durch gleiche Zeichen angezeigt wird, so wird der naturgesetzlichen Folge gleicher Wirkungen auf gleiche Ursachen, auch eine ebenso regelmässige Folge im Gebiete unserer Empfindungen entsprechen.

Wenn Beeren einer gewissen Art beim Reifen zugleich rothes Pigment und Zucker ausbilden, so werden in unserer Empfindung bei Beeren dieser Form rothe Farbe und süsser Geschmack sich immer zusammen finden.

Wenn also unsere Sinnesempfindungen in ihrer Qualität auch nur Zeichen sind, deren besondere Art ganz von unserer Organisation abhängt, so sind sie doch nicht als leerer Schein zu verwerfen, sondern sie sind eben Zeichen von Etwas, sei es etwas Bestehendem oder Geschehendem, und was das Wichtigste ist, das Gesetz dieses Geschehens können sie uns abbilden.

Die Qualitäten der Empfindung also erkennt auch die Physiologie als blosse Form der Anschauung an. Kant aber ging weiter. Nicht nur die Qualitäten der Sinnesempfindungen sprach er an, als gegeben durch die Eigenthümlichkeiten unseres Anschauungsvermögens, sondern auch Zeit und Raum, da wir nichts in der Aussenwelt wahrnehmen können, ohne dass es zu einer bestimmten Zeit geschieht und an einen bestimmten Ort gesetzt wird; die Zeitbestimmung kommt sogar auch jeder innerlichen Wahrnehmung zu. Er bezeichnete deshalb die Zeit als die gegebene und nothwendige, transcendentale Form der inneren, den Raum als die entsprechende Form der äusseren Anschauung. Auch die räumlichen Bestimmungen also betrachtet Kant als ebenso wenig der Welt des Wirklichen, oder „dem Dinge an sich" angehörig, wie die Farben, die wir sehen, den Körpern an sich zukommen, sondern durch unser Auge in sie hineingetragen sind. Selbst hier wird die naturwissenschaftliche Betrachtung bis zu einer gewissen Grenze mitgehen können. Wenn wir nämlich fragen, ob es ein gemeinsames und in unmittelbarer Empfindung wahrnehmbares Kennzeichen giebt, durch welches sich für uns jede auf Gegenstände im Raum bezügliche Wahrnehmung charakterisirt: so finden wir in der That ein solches in dem Umstande, dass Bewegung unseres Körpers uns in andere räumliche Beziehungen zu den wahrgenommenen Objecten setzt, und dadurch auch den Eindruck, den sie auf uns machen, verändert. Der Impuls zur Bewegung aber, den wir durch Innervation unserer motorischen Nerven geben, ist etwas unmittelbar Wahrnehmbares. Dass wir etwas thun, indem wir einen solchen Impuls geben, fühlen wir. Was wir thun, wissen wir nicht unmittelbar. Dass wir die motorischen Nerven in Erregungszustand versetzen oder innerviren, dass deren Reizung auf die Muskeln übergeleitet wird, diese sich in Folge dessen zusammen-

ziehen und die Glieder bewegen, lehrt uns erst die Physiologie. Wiederum aber wissen wir auch ohne wissenschaftliches Studium, welche wahrnehmbare Wirkung jeder verschiedenen Innervation folgt, die wir einzuleiten im Stande sind. Dass wir dies durch häufig wiederholte Versuche und Beobachtungen lernen, ist in einer grossen Reihe von Fällen sicher nachweisbar. Wir können noch im erwachsenen Alter lernen, die Innervationen zu finden, die zum Aussprechen der Buchstaben einer fremden Sprache oder für eine besondere Art der Stimmbildung beim Singen nöthig sind; wir können Innervationen lernen, um die Ohren zu bewegen, um mit den Augen einwärts oder auswärts, selbst auf- und abwärts zu schielen u. s. w. Die Schwierigkeit, dergleichen zu vollführen, besteht nur darin, dass wir durch Versuche die noch unbekannten Innervationen zu finden suchen müssen, die zu solchen bisher nicht ausgeführten Bewegungen nöthig sind. Uebrigens wissen wir selbst von diesen Impulsen unter keiner anderen Form und durch kein anderes definirbares Merkmal, als dadurch, das sie eben die beabsichtigte beobachtbare Wirkung hervorbringen; diese letztere dient also auch allein zur Unterscheidung der verschiedenen Impulse in unserem eigenen Vorstellen.

Wenn wir nun Impulse solcher Art geben (den Blick wenden, die Hände bewegen, hin- und hergehen), so finden wir, dass die gewissen Qualitätenkreisen angehörigen Empfindungen (nämlich, die auf räumliche Objecte bezüglichen) dadurch geändert werden können; andere psychische Zustände, deren wir uns bewusst sind, Erinnerungen, Absichten, Wünsche, Stimmungen durchaus nicht. Dadurch ist in unmittelbarer Wahrnehmung ein durchgreifender Unterschied zwischen den ersteren und letzteren gesetzt. Wenn wir also dasjenige Verhältniss, welches wir durch unsere Willensimpulse unmittelbar ändern, dessen Art uns übrigens noch ganz unbekannt sein könnte, ein räumliches nennen wollen, so treten die Wahrnehmungen psychischer Thätigkeiten gar nicht in ein solches ein; wohl aber müssen alle Empfindungen der äusseren Sinne unter irgend welcher Art der Innervation vor sich gehen, d. h. räumlich bestimmt sein. Demnach wird uns der Raum auch sinnlich erscheinen, behaftet mit den Qualitäten unserer Bewegungsempfindungen, als das, durch welches hin wir uns bewegen, durch welches hin wir blicken können. Die Raumanschauung würde also in diesem Sinne eine subjective Anschauungsform sein, wie die Empfindungsqualitäten Roth,

Süss, Kalt. Natürlich würde dies für jene ebenso wenig wie für diese, den Sinn haben, dass die Ortsbestimmung eines bestimmten einzelnen Gegenstandes ein blosser Schein sei.

Als die nothwendige Form der äusseren Anschauung aber würde der Raum von diesem Standpunkt aus erscheinen, weil wir eben das, was wir als räumlich bestimmt wahrnehmen, als Aussenwelt zusammenfassen. Dasjenige, an dem keine Raumbeziehung wahrzunehmen ist, begreifen wir als die Welt der inneren Anschauung, als die Welt des Selbstbewusstseins.

Und eine gegebene, vor aller Erfahrung mitgebrachte Form der Anschauung würde der Raum sein, insofern seine Wahrnehmung an die Möglichkeit motorischer Willensimpulse geknüpft wäre, für die uns die geistige und körperliche Fähigkeit durch unsere Organisation gegeben sein muss, ehe wir Raumanschauung haben können.

Darüber, dass das von uns besprochene Kennzeichen der Veränderung bei Bewegung allen auf räumliche Objecte bezüglichen Wahrnehmungen zukommt, wird nicht wohl ein Zweifel sein können[1]). Es wird dagegen die Frage zu beantworten sein, ob nun aus dieser Quelle alle eigenthümlichen Bestimmungen unserer Raumanschauung herzuleiten sind. Zu dem Ende müssen wir überlegen, was mit den bisher besprochenen Hülfsmitteln des Wahrnehmens sich erreichen lässt.

Suchen wir uns auf den Standpunkt eines Menschen ohne alle Erfahrung zurückzuversetzen. Um ohne Raumanschauung zu beginnen, müssen wir annehmen, dass ein solcher Mensch auch die Wirkungen seiner Innervationen nicht weiter kenne, als insofern er gelernt habe, wie er durch Nachlass einer ersten Innervation oder durch Ausführung eines zweiten Gegenimpulses sich in den Zustand wieder zurückversetzen könne, aus dem er durch den ersten Impuls sich entfernt hat. Da dieses gegenseitige Sichaufheben verschiedener Innervationen ganz unabhängig ist von dem, was dabei wahrgenommen wird: so kann der Beobachter finden, wie er das zu machen hat, ohne noch irgend ein Verständniss der Aussenwelt vorher erlangt zu haben.

Ein solcher Beobachter befinde sich zunächst einmal einer Umgebung von ruhenden Objecten gegenüber. Dies wird sich ihm erstens dadurch zu erkennen geben, dass, so lange er keinen

---

[1]) Ueber die Localisation der Empfindungen innerer Organe siehe Beilage I, Anhang Bd. II.

motorischen Impuls giebt, seine Empfindungen unverändert bleiben. Giebt er einen solchen (bewegt er zum Beispiel die Augen oder die Hände, schreitet er fort), so ändern sich die Empfindungen; und kehrt er dann, durch Nachlass oder den zugehörigen Gegenimpuls, in den früheren Zustand zurück, so werden sämmtliche Empfindungen wieder die früheren.

Nennen wir die ganze Gruppe von Empfindungsaggregaten, welche während der besprochenen Zeitperiode durch eine gewisse bestimmte und begrenzte Gruppe von Willensimpulsen herbeizuführen sind, die zeitweiligen Präsentabilien, dagegen präsent dasjenige Empfindungsaggregat aus dieser Gruppe, was gerade zur Perception kommt: so ist unser Beobachter zur Zeit an einen gewissen Kreis von Präsentabilien gebunden, aus dem er aber jedes Einzelne in jedem ihm beliebigen Augenblicke durch Ausführung der betreffenden Bewegung präsent machen kann. Dadurch erscheint ihm jedes Einzelne aus dieser Gruppe der Präsentabilien als bestehend in jedem Augenblick dieser Zeitperiode. Er hat es beobachtet in jedem einzelnen Augenblicke, wo er es gewollt hat. Die Behauptung, dass er es auch in jedem anderen zwischenliegenden Augenblicke würde haben beobachten können, wo er es gewollt haben würde, ist als ein Inductionsschluss anzusehen, der von jedem Augenblick eines gelungenen Versuches auf jeden Augenblick der betreffenden Zeitperiode schlechthin gezogen wird. So wird also die Vorstellung von einem dauernden Bestehen von Verschiedenem gleichzeitig neben einander gewonnen werden können. Das „Nebeneinander“ ist eine Raumbezeichnung; aber sie ist gerechtfertigt, da wir das durch Willensimpulse geänderte Verhältniss als „räumlich“ definirt haben. Bei dem, was da als neben einander bestehend gesetzt wird, braucht man noch nicht an substantielle Dinge zu denken. „Rechts ist es hell, links ist es dunkel; vorn ist Widerstand, hinten nicht“, könnte zum Beispiel auf dieser Erkenntnissstufe gesagt werden, wobei das Rechts und Links nur Namen für bestimmte Augenbewegungen, Vorn und Hinten für bestimmte Handbewegungen sind.

Zu anderen Zeiten nun ist der Kreis der Präsentabilien für dieselbe Gruppe von Willensimpulsen ein anderer geworden. Dadurch tritt uns dieser Kreis mit dem Einzelnen, was er enthält, als ein Gegebenes, ein „objectum“ entgegen. Es scheiden sich diejenigen Veränderungen, die wir durch bewusste Willensimpulse hervorbringen und rückgängig machen können, von

solchen, die nicht Folge von Willensimpulsen sind und durch solche nicht beseitigt werden können. Die letztere Bestimmung ist negativ. Fichte's passender Ausdruck dafür ist, dass sich ein „Nicht-Ich“ dem „Ich“ gegenüber Anerkennung erzwingt.

Wenn wir nach den empirischen Bedingungen fragen, unter denen die Raumanschauung sich ausbildet, so müssen wir bei diesen Ueberlegungen hauptsächlich auf den Tastsinn Rücksicht nehmen, da Blinde ohne Hülfe des Gesichts die Raumanschauung vollständig ausbilden können. Wenn auch die Ausfüllung des Raumes mit Objecten für sie weniger reich und fein ausfallen wird, als für Sehende: so erscheint es doch im höchsten Grade unwahrscheinlich, dass die Grundlagen der Raumanschauung bei beiden Klassen von Menschen gänzlich verschieden sein sollten. Versuchen wir selbst im Dunkeln oder mit geschlossenen Augen tastend zu beobachten: so können wir sehr wohl mit einem Finger, selbst mit einem in der Hand gehaltenen Stifte, wie der Chirurg mit der Sonde, tasten und doch die Körperform des vorliegenden Objects fein und sicher ermitteln. Gewöhnlich betasten wir grössere Gegenstände, wenn wir uns im Dunkeln zurechtfinden wollen, mit fünf oder zehn Fingerspitzen gleichzeitig. Wir bekommen dann fünf- bis zehnmal so viel Nachrichten in gleicher Zeit als mit einem Finger, und brauchen die Finger auch zu Grössenmessungen an den Objecten wie die Spitzen eines geöffneten Zirkels. Jedenfalls tritt beim Tasten der Umstand, dass wir eine ausgebreitete empfindende Hautfläche mit vielen empfindenden Punkten haben, ganz in den Hintergrund. Was wir bei ruhigem Auflegen der Hand, etwa auf das Gepräge einer Medaille, durch das Hautgefühl zu ermitteln im Stande sind, ist ausserordentlich stumpf und dürftig im Vergleich mit dem, was wir durch tastende Bewegung, wenn auch nur mit der Spitze eines Bleistiftes, herausfinden. Beim Gesichtssinn wird dieser Vorgang dadurch viel verwickelter, dass neben der am feinsten empfindenden Stelle der Netzhaut, ihrer centralen Grube, welche beim Blicken gleichsam an dem Netzhautbilde herumgeführt wird, gleichzeitig noch eine grosse Menge anderer empfindender Punkte in viel ausgiebigerer Weise mitwirken, als dies beim Tastsinn der Fall ist.

Dass durch das Entlangführen des tastenden Fingers an den Objecten die Reihenfolge kennen gelernt wird, in der sich ihre Eindrücke darbieten, dass diese Reihenfolge sich als unabhängig davon erweist, ob man mit diesem oder jenem Finger tastet,

dass sie ferner nicht eine einläufig bestimmte Reihe ist, deren Elemente man immer wieder vor- oder rückwärts in derselben Ordnung durchlaufen müsste, um von einem zum anderen zu kommen, also keine linienförmige Reihe, sondern ein flächenhaftes Nebeneinander, oder nach Riemann's Terminologie, eine Mannigfaltigkeit zweiter Ordnung, das alles ist leicht einzusehen. Der tastende Finger freilich kann noch mittelst anderer motorischer Impulse, als die sind, die ihn längs der tastbaren Fläche verschieben, von einem zum anderen Punkt derselben kommen, und verschiedene tastbare Flächen verlangen verschiedene Bewegungen, um an ihnen zu gleiten. Dadurch ist für den Raum, in dem sich das Tastende bewegt, eine höhere Mannigfaltigkeit verlangt als für die tastbare Fläche; es wird die dritte Dimension hinzutreten müssen. Diese aber genügt für alle vorliegenden Erfahrungen; denn eine geschlossene Fläche theilt den Raum, den wir kennen, vollständig. Auch Gase und Flüssigkeiten, die doch nicht an die Form des menschlichen Vorstellungsvermögens gebunden sind, können durch eine rings geschlossene Fläche nicht entweichen; und wie nur eine Fläche, nicht ein Raum, also ein Raumgebild von zwei, nicht eines von drei Dimensionen, durch eine geschlossene Linie zu begrenzen ist: so kann auch durch eine Fläche eben nur ein Raum von drei Dimensionen, nicht einer von vieren abgeschlossen werden.

So wäre die Kenntniss zu gewinnen von der Raumordnung des neben einander Bestehenden. Grössenvergleichungen würden durch Beobachtungen von Congruenz der tastenden Hand mit Theilen oder Punkten von Körperflächen, oder von Congruenz der Netzhaut mit den Theilen und Punkten des Netzhautbildes dazukommen.

Davon, dass diese angeschaute Raumordnung der Dinge ursprünglich herrührt von der Reihenfolge, in der sich die Qualitäten des Empfindens dem bewegten Sinnesorgan darboten, bleibt schliesslich auch im vollendeten Vorstellen des erfahrenen Beobachters eine wunderliche Folge stehen. Nämlich die im Raume vorhandenen Objecte erscheinen uns mit den Qualitäten unserer Empfindungen bekleidet. Sie erscheinen uns roth oder grün, kalt oder warm, riechen oder schmecken u. s. w., während diese Empfindungsqualitäten doch nur unserem Nervensystem angehören und gar nicht in den äusseren Raum hinausreichen. Selbst, wenn wir dies wissen, hört der Schein nicht auf, weil dieser Schein in der That die ursprüngliche Wahrheit ist; es sind eben

die Empfindungen, die sich zuerst in räumlicher Ordnung uns darbieten.

Sie sehen, dass die wesentlichsten Züge der Raumanschauung auf diese Weise abgeleitet werden können. Dem populären Bewusstsein aber erscheint eine Anschauung als etwas einfach Gegebenes, was ohne Nachdenken und Suchen zu Stande kommt, und überhaupt nicht weiter in andere psychische Vorgänge aufzulösen ist. Dieser populären Meinung schliesst sich ein Theil der physiologischen Optiker an, und auch die Kantianer stricter Observanz, wenigstens betreffs der Raumanschauung. Bekanntlich nahm schon Kant an, nicht nur, dass die allgemeine Form der Raumanschauung transcendental gegeben sei, sondern dass dieselbe auch von vorn herein und vor aller möglichen Erfahrung gewisse nähere Bestimmungen enthalte, wie sie in den Axiomen der Geometrie ausgesprochen sind. Diese lassen sich auf folgende Sätze zurückführen:

1) Zwischen zwei Punkten ist nur eine kürzeste Linie möglich. Wir nennen eine solche „gerade“.

2) Durch je drei Punkte lässt sich eine Ebene legen. Eine Ebene ist eine Fläche, in die jede gerade Linie ganz hineinfällt, wenn sie mit zwei Punkten derselben zusammenfällt.

3) Durch jeden Punkt ist nur eine Linie möglich, die einer gegebenen geraden Linie parallel ist. Parallel sind zwei gerade Linien, die in derselben Ebene liegen und sich in keiner endlichen Entfernung schneiden.

Ja Kant benutzt die angebliche Thatsache, dass diese Sätze der Geometrie uns als nothwendig richtig erschienen, und wir uns ein abweichendes Verhalten des Raumes auch gar nicht einmal vorstellen könnten, geradezu als Beweis dafür, dass sie vor aller Erfahrung gegeben sein müssten, und dass deshalb auch die in ihnen enthaltene Raumanschauung eine transcendentale, von der Erfahrung unabhängige Form der Anschauung sei.

Ich möchte hier zunächst wegen der Streitigkeiten, die in den letzten Jahren über die Frage geführt worden sind, ob die Axiome der Geometrie transcendentale oder Erfahrungssätze seien, hervorheben, dass diese Frage ganz zu trennen ist von der erst besprochenen, ob der Raum überhaupt eine transcendentale Anschauungsform sei oder nicht [1]).

---

[1]) Siehe Beilage II, Anhang Bd. II.

Unser Auge sieht alles, was es sieht, als ein Aggregat farbiger Flächen im Gesichtsfelde; das ist seine Anschauungsform. Welche besonderen Farben bei dieser und jener Gelegenheit erscheinen, in welcher Zusammenstellung und in welcher Folge, ist Ergebniss der äusseren Einwirkungen und durch kein Gesetz der Organisation bestimmt. Ebenso wenig folgt daraus, dass der Raum eine Form des Anschauens sei, irgend etwas über die Thatsachen, die in den Axiomen ausgesprochen sind. Wenn solche Sätze keine Erfahrungssätze sein, sondern der nothwendigen Form der Anschauung angehören sollen, so ist dies eine weitere besondere Bestimmung der allgemeinen Form des Raumes, und diejenigen Gründe, welche schliessen lassen, dass die Anschauungsform des Raumes transcendental sei, genügen darum noch nicht nothwendig, um gleichzeitig zu beweisen, dass auch die Axiome transcendentalen Ursprungs seien.

Kant ist bei seiner Behauptung, dass räumliche Verhältnisse, die den Axiomen des Euklides widersprächen, überhaupt nicht einmal vorgestellt werden könnten, so wie in seiner gesammten Auffassung der Anschauung überhaupt, als eines einfachen, nicht weiter aufzulösenden psychischen Vorganges, durch den damaligen Entwickelungszustand der Mathematik und Sinnesphysiologie beeinflusst gewesen.

Wenn man eine vorher nie gesehene Sache sich vorzustellen versuchen will, so muss man sich die Reihe der Sinneseindrücke auszumalen wissen, welche nach den bekannten Gesetzen derselben zu Stande kommen müssten, wenn man jenes Object und seine allmählichen Veränderungen nach einander von jedem möglichen Standpunkte aus mit allen Sinnen beobachtete; und gleichzeitig müssen diese Eindrücke von der Art sein, dass dadurch jede andere Deutung ausgeschlossen ist. Wenn diese Reihe der Sinneseindrücke vollständig und eindeutig angegeben werden kann, muss man meines Erachtens die Sache für anschaulich vorstellbar erklären. Da dieselbe der Voraussetzung nach noch nie beobachtet sein soll, kann keine frühere Erfahrung uns zu Hülfe kommen und bei der Auffindung der zu fordernden Reihe von Eindrücken unsere Phantasie leiten, sondern es kann dies nur durch den Begriff des vorzustellenden Objectes oder Verhältnisses geschehen. Ein solcher Begriff ist also zunächst auszuarbeiten und so weit zu specialisiren, als es der angegebene Zweck erfordert. Der Begriff von Raumgebilden, die der gewöhnlichen Anschauung nicht entsprechen sollen, kann nur durch die

rechnende analytische Geometrie sicher entwickelt werden. Für das vorliegende Problem hat zuerst Gauss 1828 durch seine Abhandlung über die Krümmung der Flächen die analytischen Hülfsmittel gegeben, und Riemann diese zur Auffindung der logisch möglichen, in sich consequenten Systeme der Geometrie angewendet; diese Untersuchungen hat man nicht unpassend als metamathematische bezeichnet. Zu bemerken ist übrigens, dass schon Lobatschewski 1829 und 1840 eine Geometrie ohne den Parallelensatz auf dem gewöhnlichen synthetisch anschaulichen Wege durchgeführt hat, welche in vollkommener Uebereinstimmung mit dem entsprechenden Theile der neueren analytischen Untersuchungen ist. Endlich hat Beltrami eine Methode der Abbildung metamathematischer Räume in Theilen des Euklidischen Raumes angegeben, durch welche die Bestimmung ihrer Erscheinungsweise im perspectivischen Sehen ziemlich leicht gemacht wird. Lipschitz hat die Uebertragbarkeit der allgemeinen Principien der Mechanik auf solche Räume nachgewiesen, so dass die Reihe der Sinneseindrücke, die in ihnen zu Stande kommen würden, vollständig angegeben werden kann, womit die Anschaubarkeit solcher Räume im Sinne der vorangestellten Definition dieses Begriffes erwiesen ist[1]).

Hier aber tritt der Widerspruch ein. Ich verlange für den Beweis der Anschaubarkeit nur, dass für jede Beobachtungsweise bestimmt und unzweideutig die entstehenden Sinneseindrücke anzugeben seien, nöthigenfalls unter Benutzung der wissenschaftlichen Kenntniss ihrer Gesetze, aus denen, wenigstens für den Kenner dieser Gesetze, hervorgehen würde, dass das betreffende Ding oder anzuschauende Verhältniss thatsächlich vorhanden sei. Die Aufgabe, sich die Raumverhältnisse in metamathematischen Räumen vorzustellen, erfordert in der That einige Uebung im Verständniss analytischer Methoden, perspectivischer Constructionen und optischer Erscheinungen.

Dies aber widerspricht dem älteren Begriff der Anschauung, welcher nur das als durch Anschauung gegeben anerkennt, dessen Vorstellung ohne Besinnen und Mühe sogleich mit dem sinnlichen Eindruck zum Bewusstsein kommt. Diese Leichtigkeit, Schnelligkeit, blitzähnliche Evidenz, mit der wir zum Beispiel die Form eines Zimmers, in welches wir zum ersten Male treten, die Anordnung und Form der darin enthaltenen Gegenstände, den

---

1) Siehe meinen Vortrag über die Axiome der Geometrie. S. 1, Bd. II.

Stoff, aus dem sie bestehen, und vieles Andere wahrnehmen, haben unsere Versuche, mathematische Räume vorzustellen, in der That nicht. Wenn diese Art der Evidenz also eine ursprünglich gegebene, nothwendige Eigenthümlichkeit aller Anschauung wäre, so könnten wir bis jetzt die Anschaubarkeit solcher Räume nicht behaupten.

Da stossen uns nun bei weiterer Ueberlegung Fälle in Menge auf, welche zeigen, dass Sicherheit und Schnelligkeit des Eintretens bestimmter Vorstellungen bei bestimmten Eindrücken auch erworben werden kann, selbst wo nichts von einer solchen Verbindung durch die Natur gegeben ist. Eines der schlagendsten Beispiele dieser Art ist das Verständniss unserer Muttersprache. Die Worte sind willkürlich oder zufällig gewählte Zeichen, jede andere Sprache hat andere; ihr Verständniss ist nicht angeerbt, denn für ein deutsches Kind, das zwischen Franzosen aufgewachsen ist und nie deutsch sprechen hörte, ist Deutsch eine fremde Sprache. Das Kind lernt die Bedeutung der Worte und Sätze nur durch Beispiele der Anwendung kennen, wobei man, ehe es die Sprache versteht, ihm nicht einmal verständlich machen kann, dass die Laute, die es hört, Zeichen sein sollen, die einen Sinn haben. Schliesslich versteht es, herangewachsen, diese Worte und Sätze ohne Besinnen, ohne Mühe, ohne zu wissen, wann, wo und an welchen Beispielen es sie gelernt hat, es fasst die feinsten Abänderungen ihres Sinnes, oft solche, denen Versuche logischer Definition nur schwerfällig nachhinken.

Es wird nicht nöthig sein, dass ich die Beispiele solcher Vorgänge häufe, das tägliche Leben ist reich genug daran. Die Kunst ist geradezu darauf begründet, am deutlichsten die Poesie und die bildende Kunst. Die höchste Art des Anschauens, wie wir sie im Schauen des Künstlers finden, ist ein solches Erfassen eines neuen Typus der ruhenden oder bewegten Erscheinung des Menschen und der Natur. Wenn sich die gleichartigen Spuren, welche oft wiederholte Wahrnehmungen in unserem Gedächtnisse zurücklassen, verstärken: so ist es gerade das Gesetzmässige, was sich am regelmässigsten gleichartig wiederholt, während das zufällig Wechselnde verwischt wird. Dem liebevollen und achtsamen Beobachter erwächst auf diese Weise ein Anschauungsbild des typischen Verhaltens der Objecte, die ihn interessirten, von dem er nachher ebenso wenig weiss, wie es entstanden ist, als das Kind Rechenschaft davon geben kann, an welchen Beispielen

es die Bedeutung der Worte kennen gelernt hat. Dass der Künstler Wahres erschaut hat, geht daraus hervor, dass es uns wieder mit der Ueberzeugung der Wahrheit ergreift, wenn er es uns an einem von den Störungen des Zufalls gereinigten Beispiele vorträgt. Er aber ist uns darin überlegen, dass er es aus allem Zufall und aller Verwirrung des Treibens der Welt herauszulesen wusste.

So viel nur zur Erinnerung daran, wie dieser psychische Prozess von den niedrigsten bis zu den höchsten Entwickelungsstufen unseres Geisteslebens wirksam ist. Ich habe die hierbei eintretenden Vorstellungsverbindungen in meinen früheren Arbeiten als unbewusste Schlüsse bezeichnet; als unbewusst, insofern der Major derselben aus einer Reihe von Erfahrungen gebildet ist, die einzeln längst dem Gedächtniss entschwunden sind und auch nur in Form von sinnlichen Beobachtungen, nicht nothwendig als Sätze in Worte gefasst, in unser Bewusstsein getreten waren. Der bei gegenwärtiger Wahrnehmung eintretende neue sinnliche Eindruck bildet den Minor, auf den die durch die früheren Beobachtungen eingeprägte Regel angewendet wird. Ich habe später jenen Namen der unbewussten Schlüsse vermieden, um der Verwechselung mit der, wie mir scheint, gänzlich unklaren und ungerechtfertigten Vorstellung zu entgehen, die Schopenhauer und seine Nachfolger mit diesem Namen bezeichnen; aber offenbar haben wir es hier mit einem elementaren Prozesse zu thun, der allem eigentlich sogenannten Denken zu Grunde liegt, wenn dabei auch noch die kritische Sichtung und Vervollständigung der einzelnen Schritte fehlt, wie sie in der wissenschaftlichen Bildung der Begriffe und Schlüsse eintritt.

Was also zunächst die Frage nach dem Ursprunge der geometrischen Axiome betrifft, so kann die bei mangelnder Erfahrung fehlende Leichtigkeit der Vorstellung metamathematischer Raumverhältnisse nicht als Grund gegen ihre Anschaubarkeit geltend gemacht werden. Uebrigens ist die letztere vollkommen erweisbar. Kant's Beweis für die transcendentale Natur der geometrischen Axiome ist also hinfällig. Andererseits zeigt die Untersuchung der Erfahrungsthatsachen, dass die geometrischen Axiome, in demjenigen Sinne genommen, wie sie allein auf die wirkliche Welt angewendet werden dürfen, durch Erfahrung geprüft, erwiesen, eventualiter auch widerlegt werden können [1]).

[1]) Siehe meine „Wissenschaftlichen Abhandlungen“, Bd. II, S. 640. Auszug daraus Beilage III, Anhang Bd. II.

Eine weitere und höchst einflussreiche Rolle spielen die Gedächtnissreste früherer Erfahrungen noch in der Beobachtung unseres Gesichtsfeldes.

Ein nicht mehr ganz unerfahrener Beobachter erhält auch ohne Bewegung der Augen, sei es bei momentaner Beleuchtung durch eine elektrische Entladung, sei es bei absichtlichem, starrem Fixiren, ein verhältnissmässig reiches Bild von den vor ihm befindlichen Gegenständen. Doch überzeugt sich auch der Erwachsene noch leicht, dass dieses Bild viel reicher und namentlich viel genauer wird, wenn er den Blick im Gesichtsfelde herumführt und also diejenige Art der Raumbeobachtung anwendet, die ich vorher als die grundlegende beschrieben habe. Wir sind in der That auch so sehr daran gewöhnt, den Blick an den Gegenständen, die wir betrachten, wandern zu lassen, dass es ziemlich viel Uebung erfordert, ehe es uns gelingt, ihn für physiologisch optische Versuche längere Zeit ohne Schwanken auf einem Punkte festzuhalten. Ich habe in meinen physiologisch optischen Arbeiten [1]) auseinanderzusetzen gesucht, wie unsere Kenntniss des Gesichtsfeldes durch Beobachtung der Bilder während der Bewegungen des Auges erworben werden kann, wenn nur irgend welcher wahrnehmbarer Unterschied zwischen übrigens qualitativ gleichen Netzhautempfindungen existirt, der dem Unterschiede verschiedener Orte auf der Netzhaut entspricht. Nach Lotze's Terminologie wäre ein solcher Unterschied ein Localzeichen zu nennen; nur, dass dieses Zeichen ein Localzeichen sei, d. h. einem örtlichen Unterschiede entspreche und welchem, braucht nicht von vorn herein bekannt zu sein. Dass Personen, die von Jugend auf blind waren und später durch Operation das Gesicht wieder erhielten, zunächst nicht einmal so einfache Formen, wie einen Kreis und ein Quadrat, durch das Auge unterscheiden konnten, ehe sie sie betastet hatten, ist auch durch neuere Beobachtungen wieder bestätigt worden [2]). Ausserdem lehrt die physiologische Untersuchung, dass wir verhältnissmässig genaue und sichere Vergleichungen nach dem Augenmaass ausschliesslich an solchen Linien und Winkeln im Sehfelde ausführen können, die sich durch die normalen Augenbewegungen schnell hinter einander auf denselben Stellen der Netzhaut abbilden lassen. Wir

[1]) Handbuch der Physiologischen Optik. — Vorträge über das Sehen des Menschen. Bd. I, S. 85 und 265 dieser Sammlung.

[2]) Dufour (Lausanne) im Bulletin de la Société médicale de la Suisse Romande, 1876.

schätzen sogar die wahren Grössen und Entfernungen der nicht allzu entfernten räumlichen Objecte viel sicherer, als die mit dem Standpunkt wechselnden perspectivischen im Gesichtsfelde des Beobachters, obgleich jene auf drei Dimensionen des Raumes bezügliche Aufgabe viel verwickelter ist, als diese, die sich nur auf ein flächenhaftes Bild bezieht. Eine der grössten Schwierigkeiten beim Zeichnen ist bekanntlich, sich frei zu machen von dem Einfluss, den die Vorstellung von der wahren Grösse der gesehenen Objecte unwillkürlich ausübt. Genau die beschriebenen Verhältnisse sind es nun, welche wir erwarten müssen, wenn wir das Verständniss der Localzeichen erst durch Erfahrung erworben haben. Für das, was objectiv constant bleibt, können wir die wechselnden sinnlichen Zeichen sicher kennen lernen, viel leichter als für das, was selbst bei jeder Bewegung unseres Körpers wechselt, wie es die perspectivischen Bilder thun.

Für eine grosse Zahl von Physiologen, deren Ansicht wir als die nativistische bezeichnen können, im Gegensatz zur empiristischen, die ich selbst zu vertheidigen gesucht habe, erscheint indessen diese Vorstellung einer erworbenen Kenntniss des Gesichtsfeldes unannehmbar, weil sie sich nicht klar gemacht haben, was doch am Beispiel der Sprache so deutlich vorliegt, wie viel die gehäuften Gedächtnisseindrücke zu leisten vermögen. Es sind deshalb eine Menge verschiedener Versuche gemacht worden, wenigstens einen gewissen Theil der Gesichtswahrnehmung auf einen angeborenen Mechanismus zurückzuführen in dem Sinne, dass bestimmte Empfindungseindrücke bestimmte fertige Raumvorstellungen auslösen sollten. Im Einzelnen habe ich den Nachweis geführt[1]), dass alle bisher aufgestellten Hypothesen dieser Art nicht ausreichen, weil sich schliesslich doch immer wieder Fälle auffinden lassen, wo unsere Gesichtswahrnehmung sich in genauerer Uebereinstimmung mit der Wirklichkeit befindet, als jene Annahmen ergeben würden. Man ist dann zu der weiteren Hypothese gezwungen, dass die bei den Bewegungen gewonnene Erfahrung schliesslich die angeborene Anschauung überwinden könne und also gegen diese das leiste, was sie nach der empiristischen Hypothese ohne ein solches Hinderniss leisten soll.

---

[1]) Siehe mein Handbuch der Physiologischen Optik. 3. Abtheilung. Leipzig 1867.

Die nativistischen Hypothesen über die Kenntniss des Gesichtsfeldes erklären also erstens nichts, sondern nehmen nur an, dass das zu erklärende Factum bestehe, indem sie gleichzeitig die mögliche Rückführung desselben auf sicher constatirte psychische Prozesse zurückweisen, auf die sie doch selbst wiederum in anderen Fällen sich berufen müssen. Zweitens erscheint die Annahme sämmtlicher nativistischer Theorien, dass fertige Vorstellungen von Objecten durch den organischen Mechanismus hervorgebracht werden, viel verwegener und bedenklicher, als die Annahme der empiristischen Theorie, dass nur das unverstandene Material von Empfindungen von den äusseren Einwirkungen herrühre, alle Vorstellungen aber daraus nach den Gesetzen des Denkens gebildet werden.

Drittens sind die nativistischen Annahmen unnöthig. Der einzige Einwurf, der gegen die empiristische Erklärung vorgebracht werden konnte, ist die Sicherheit der Bewegung vieler neugeborener oder eben aus dem Ei gekrochener Thiere. Je weniger geistig begabt dieselben sind, desto schneller lernen sie das, was sie überhaupt lernen können. Je enger die Wege sind, die ihre Gedanken gehen müssen, desto leichter finden sie dieselben. Das neugeborene menschliche Kind ist im Sehen äusserst ungeschickt; es braucht mehrere Tage, ehe es lernt, nach dem Gesichtsbilde die Richtung zu beurtheilen, nach der es den Kopf wenden muss, um die Brust der Mutter zu erreichen. Junge Thiere sind allerdings von individueller Erfahrung viel unabhängiger. Was aber dieser Instinct ist, der sie leitet, ob directe Vererbung von Vorstellungskreisen der Eltern möglich ist, ob es sich nur um Lust oder Unlust, oder um einen motorischen Drang handelt, die sich an gewisse Empfindungsaggregrate anknüpfen, darüber wissen wir Bestimmtes noch so gut wie nichts. Beim Menschen kommen deutlich erkennbar noch Reste der letztgenannten Phänomene vor. Sauber und kritisch angestellte Beobachtungen wären auf diesem Gebiete im höchsten Grade wünschenswerth.

Höchstens könnte also für Einrichtungen, wie sie die nativistische Hypothese voraussetzt, ein gewisser pädagogischer Werth in Anspruch genommen werden, der das Auffinden der ersten gesetzmässigen Verhältnisse erleichtert. Auch die empiristische Ansicht würde mit dahin zielenden Voraussetzungen vereinbar sein, dass zum Beispiel die Localzeichen benachbarter Netzhautstellen einander ähnlicher sind als die entfernter, diejenigen

correspondirenden Stellen beider Netzhäute ähnlicher als die disparater u. s. w. Für unsere gegenwärtige Untersuchung ist es genügend, zu wissen, dass Raumanschauung vollständig auch beim Blinden entstehen kann, und dass beim Sehenden, selbst wenn die nativistischen Hypothesen theilweise zuträfen, doch die letzte und genaueste Bestimmung der räumlichen Verhältnisse von den bei Bewegung gemachten Beobachtungen bedingt wird.

Ich kehre zurück zur Besprechung der ersten ursprünglichen Thatsachen unserer Wahrnehmung. Wir haben, wie wir gesehen, nicht nur wechselnde Sinneseindrücke, die über uns kommen, ohne dass wir etwas dazu thun, sondern wir beobachten unter fortdauernder eigener Thätigkeit, und gelangen dadurch zur Kenntniss des Bestehens eines gesetzlichen Verhältnisses zwischen unseren Innervationen und dem Präsentwerden der verschiedenen Eindrücke aus dem Kreise der zeitweiligen Präsentabilien. Jede unserer willkürlichen Bewegungen, durch die wir die Erscheinungsweise der Objecte abändern, ist als ein Experiment zu betrachten, durch welches wir prüfen, ob wir das gesetzliche Verhalten der vorliegenden Erscheinung, d. h. ihr vorausgesetztes Bestehen in bestimmter Raumordnung, richtig aufgefasst haben.

Die überzeugende Kraft jedes Experimentes ist aber hauptsächlich deshalb so sehr viel grösser, als die der Beobachtung eines ohne unser Zuthun ablaufenden Vorganges, weil beim Experiment die Kette der Ursachen durch unser Selbstbewusstsein hindurchläuft. Ein Glied dieser Ursachen, unseren Willensimpuls, kennen wir aus innerer Anschauung und wissen, durch welche Motive er zu Stande gekommen ist. Von ihm aus beginnt dann, als von einem uns bekannten Anfangsglied und zu einem uns bekannten Zeitpunkt, die Kette der physischen Ursachen zu wirken, die in den Erfolg des Versuches ausläuft. Aber eine wesentliche Voraussetzung für die zu gewinnende Ueberzeugung ist die, dass unser Willensimpuls weder selbst durch physische Ursachen, die gleichzeitig auch den physischen Prozess bestimmten, schon mit beeinflusst worden sei, noch seinerseits psychisch die darauf folgenden Wahrnehmungen beeinflusst habe.

Der letztere Zweifel kann namentlich bei unserem Thema in Betracht kommen. Der Willensimpuls für eine bestimmte Bewegung ist ein psychischer Act, die darauf wahrgenommene

Aenderung der Empfindung gleichfalls. Kann nun nicht der erste Act den zweiten durch rein psychische Vermittelung zu Stande bringen? Unmöglich ist es nicht. Wenn wir träumen, geschieht so etwas. Wir glauben träumend eine Bewegung zu vollführen und wir träumen dann weiter, dass dasjenige geschieht, was davon die natürliche Folge sein sollte. Wir träumen in einen Kahn zu steigen, ihn vom Land abzustossen, auf das Wasser hinaus zu gleiten, die umringenden Gegenstände sich verschieben zu sehen u. s. w. Hierbei scheint die Erwartung des Träumenden, dass er die Folgen seiner Handlungen eintreten sehen werde, die geträumte Wahrnehmung auf rein psychischem Wege herbeizuführen. Wer weiss zu sagen, wie lang und fein ausgesponnen, wie folgerichtig durchgeführt ein solcher Traum werden könnte. Wenn alles darin im höchsten Grade gesetzmässig der Naturordnung folgend geschähe, so würde kein anderer Unterschied vom Wachen bestehen, als die Möglichkeit des Erwachens, das Abreissen dieser geträumten Reihe von Anschauungen.

Ich sehe nicht, wie man ein System selbst des extremsten subjectiven Idealismus widerlegen könnte, welches das Leben als Traum betrachten wollte. Man könnte es für so unwahrscheinlich, so unbefriedigend wie möglich erklären — ich würde in dieser Beziehung den härtesten Ausdrücken der Verwerfung zustimmen — aber consequent durchführbar wäre es; und es scheint mir sehr wichtig, dies im Auge zu behalten. Wie geistreich Calderon dies Thema im „Leben ein Traum“ durchgeführt, ist bekannt.

Auch Fichte nimmt an, dass das Ich sich das Nicht-Ich, d. h. die erscheinende Welt, selbst setzt, weil es ihrer zur Entwickelung seiner Denkthätigkeit bedarf. Sein Idealismus unterscheidet sich aber doch von dem eben bezeichneten dadurch, dass er die anderen menschlichen Individuen nicht als Traumbilder, sondern auf die Aussage des Sittengesetzes hin als dem eigenen Ich gleiche Wesen fasst. Da aber ihre Bilder, in denen sie das Nicht-Ich vorstellen, wieder alle zusammen stimmen müssen, so fasste er die individuellen Ichs alle als Theile oder Ausflüsse des absoluten Ich. Dann war die Welt, in der jene sich fanden, die Vorstellungswelt, welche der Weltgeist sich setzte, und konnte wieder den Begriff der Realität annehmen, wie es bei Hegel geschah.

Die realistische Hypothese dagegen traut der Aussage der gewöhnlichen Selbstbeobachtung, wonach die einer Handlung

folgenden Veränderungen der Wahrnehmung gar keinen psychischen Zusammenhang mit dem vorausgegangenen Willensimpuls haben. Sie sieht als unabhängig von unserem Vorstellen bestehend an, was sich in täglicher Wahrnehmung so zu bewähren scheint, die materielle Welt ausser uns. Unzweifelhaft ist die realistische Hypothese die einfachste, die wir bilden können, geprüft und bestätigt in ausserordentlich weiten Kreisen der Anwendung, scharf definirt in allen Einzelbestimmungen und deshalb ausserordentlich brauchbar und fruchtbar als Grundlage für das Handeln. Das Gesetzliche in unseren Empfindungen würden wir sogar in idealistischer Anschauungsweise kaum anders auszusprechen wissen, als indem wir sagen: „Die mit dem Charakter der Wahrnehmung auftretenden Bewusstseinsacte verlaufen so, als ob die von der realistischen Hypothese angenommene Welt der stofflichen Dinge wirklich bestände.“ Aber über dieses „als ob“ kommen wir nicht hinweg; für mehr als eine ausgezeichnet brauchbare und präcise Hypothese können wir die realistische Meinung nicht anerkennen; nothwendige Wahrheit dürfen wir ihr nicht zuschreiben, da neben ihr noch andere unwiderlegbare idealistische Hypothesen möglich sind.

Es ist gut, dies immer vor Augen zu halten, um aus den Thatsachen nicht mehr folgern zu wollen, als daraus zu folgern ist. Die verschiedenen Abstufungen der idealistischen und realistischen Meinungen sind metaphysische Hypothesen, welche, so lange sie als solche anerkannt werden, ihre vollkommene wissenschaftliche Berechtigung haben, so schädlich sie auch werden mögen, wo man sie als Dogmen oder als angebliche Denknothwendigkeiten hinstellen will. Die Wissenschaft muss alle zulässigen Hypothesen erörtern, um eine vollständige Uebersicht über die möglichen Erklärungsversuche zu behalten. Noch nothwendiger sind die Hypothesen für das Handeln, weil man nicht immer zu warten kann, bis eine gesicherte wissenschaftliche Entscheidung erreicht ist, sondern sich, sei es nach der Wahrscheinlichkeit, sei es nach dem ästhetischen oder moralischen Gefühl entscheiden muss. In diesem Sinne wäre auch gegen die metaphysischen Hypothesen nichts einzuwenden. Unwürdig eines wissenschaftlich sein wollenden Denkers aber ist es, wenn er den hypothetischen Ursprung seiner Sätze vergisst. Der Hochmuth und die Leidenschaftlichkeit, mit der solche versteckte Hypothesen vertheidigt werden, sind die gewöhnlichen Folgen des unbefriedigenden Gefühls, welches ihr Vertheidiger in den ver-

borgenen Tiefen seines Gewissens über die Berechtigung seiner Sache hegt.

Was wir aber unzweideutig und als Thatsache ohne hypothetische Unterschiebung finden können, ist das Gesetzliche in der Erscheinung. Von dem ersten Schritt an, wo wir vor uns weilende Objecte im Raume vertheilt wahrnehmen, ist diese Wahrnehmung das Anerkennen einer gesetzlichen Verbindung zwischen unseren Bewegungen und den dabei auftretenden Empfindungen. Schon die ersten elementaren Vorstellungen enthalten also in sich ein Denken und gehen nach den Gesetzen des Denkens vor sich. Alles, was in der Anschauung zu dem rohen Materiale der Empfindungen hinzukommmt, kann in Denken aufgelöst werden, wenn wir den Begriff des Denkens so erweitert nehmen, wie es oben geschehen ist.

Denn wenn „begreifen“ heisst: Begriffe bilden, und wir im Begriff einer Klasse von Objecten zusammensuchen und zusammenfassen, was sie von gleichen Merkmalen an sich tragen: so ergiebt sich ganz analog, dass der Begriff einer in der Zeit wechselnden Reihe von Erscheinungen das zusammenzufassen suchen muss, was in allen ihren Stadien gleich bleibt. Der Weise, wie Schiller es ausspricht:

„Sucht das vertraute Gesetz in des Zufalls grausenden Wundern,
„Suchet den ruhenden Pol in der Erscheinungen Flucht.“

Wir nennen, was ohne Abhängigkoit von Anderem gleich bleibt in allem Wechsel der Zeit: die Substanz; wir nennen das gleichbleibende Verhältniss zwischen veränderlichen Grössen: das sie verbindende Gesetz. Was wir direct wahrnehmen, ist nur das Letztere. Der Begriff der Substanz kann nur durch erschöpfende Prüfungen gewonnen werden und bleibt immer problematisch, insofern weitere Prüfung vorbehalten wird. Früher galten Licht und Wärme als Substanzen, bis sich später herausstellte, dass sie vergängliche Bewegungsformen seien, und wir müssen immer noch auf neue Zerlegungen der jetzt bekannten chemischen Elemente gefasst sein. Das erste Product des denkenden Begreifens der Erscheinung ist das Gesetzliche. Haben wir es so weit rein ausgeschieden, seine Bedingungen so vollständig und sicher abgegrenzt und zugleich so allgemein gefasst, dass für alle möglicher Weise eintretenden Fälle der Erfolg eindeutig bestimmt ist, und wir gleichzeitig die Ueberzeugung gewinnen, es habe sich bewährt und werde sich bewähren in aller

Zeit und in allen Fällen: dann erkennen wir es als ein unabhängig von unserem Vorstellen Bestehendes an und nennen es die Ursache, d. h. das hinter dem Wechsel ursprünglich Bleibende und Bestehende; nur in diesem Sinne ist meiner Meinung nach die Anwendung des Wortes gerechtfertigt, wenn auch der gemeine Sprachgebrauch es in sehr verwaschener Weise überhaupt für Antecedens oder Veranlassung anwendet. Insofern wir dann das Gesetz als ein unsere Wahrnehmung und den Ablauf der Naturprozesse Zwingendes, als eine unserem Willen gleichwerthige Macht anerkennen, nennen wir es „Kraft“. Dieser Begriff der uns entgegentretenden Macht ist unmittelbar durch die Art und Weise bedingt, wie unsere einfachsten Wahrnehmungen zu Stande kommen. Von Anfang an scheiden sich die Aenderungen, die wir selbst durch unsere Willensacte machen, von solchen, die durch unsern Willen nicht gemacht, durch unsern Willen nicht zu beseitigen sind. Es ist namentlich der Schmerz, der uns von der Macht der Wirklichkeit die eindringlichste Lehre giebt. Der Nachdruck fällt hierbei auf die Beobachtungsthatsache, dass der wahrgenommene Kreis der Präsentabilien nicht durch einen bewussten Act unseres Vorstellens oder Willens gesetzt ist. Fichte's „Nicht-Ich“ ist hier der genau zutreffende negative Ausdruck. Auch dem Träumenden erscheint, was er zu sehen und zu fühlen glaubt, nicht durch seinen Willen oder durch die bewusste Verkettung seiner Vorstellungen hervorgerufen zu sein, wenn auch unbewusst das Letztere in Wirklichkeit oft genug der Fall sein möchte; auch ihm ist es ein Nicht-Ich. Ebenso dem Idealisten, der es als die Vorstellungswelt des Weltgeistes ansieht.

Wir haben in unserer Sprache eine sehr glückliche Bezeichnung für dieses, was hinter dem Wechsel der Erscheinungen stehend auf uns einwirkt, nämlich: „das Wirkliche“. Hierin ist nur das Wirken ausgesagt; es fehlt die Nebenbeziehung auf das Bestehen als Substanz, welche der Begriff des Reellen, d. h. des Sachlichen, einschliesst. In den Begriff des Objectiven andererseits schiebt sich meist der Begriff des fertigen Bildes eines Gegenstandes ein, welcher nicht auf die ursprünglichsten Wahrnehmungen passt. Auch bei dem folgerichtig Träumenden müssten wir diejenigen seelischen Zustände oder Motive, welche ihm die dem gegenwärtigen Stande seiner geträumten Welt gesetzmässig entsprechenden Empfindungen zur Zeit unterschieben, als wirksam und wirklich bezeichnen. Andererseits ist klar,

dass eine Scheidung von Gedachtem und Wirklichem erst möglich wird, wenn wir die Scheidung dessen, was das Ich ändern und nicht ändern kann, zu vollführen wissen. Diese wird aber erst möglich, wenn wir erkennen, welche gesetzmässigen Folgen die Willensimpulse zur Zeit haben. Das Gesetzmässige ist daher die wesentliche Voraussetzung für den Charakter des Wirklichen.

Dass es eine Contradictio in adjecto sei, das Reelle oder Kant's „Ding an sich" in positiven Bestimmungen vorstellen zu wollen, ohne es doch in die Form unseres Vorstellens aufzunehmen, brauche ich Ihnen nicht auseinanderzusetzen. Das ist oft besprochen. Was wir aber erreichen können, ist die Kenntniss der gesetzlichen Ordnung im Reiche des Wirklichen, diese freilich nur dargestellt in dem Zeichensystem unserer Sinneseindrücke.

„Alles Vergängliche
„Ist nur ein Gleichniss."

Dass wir Goethe hier und weiter mit uns auf demselben Wege finden, halte ich für ein günstiges Zeichen. Wo es sich um weite Ausblicke handelt, können wir seinem hellen und unbefangenen Blick für Wahrheit wohl vertrauen. Er verlangte von der Wissenschaft, sie solle nur eine künstlerische Anordnung der Thatsachen sein und keine abstracten Begriffe darüber hinaus bilden, die ihm leere Namen zu sein schienen und die Thatsachen nur verdüsterten. In demselben Sinne etwa hat neuerdings Gustav Kirchhoff es als die Aufgabe der abstractesten unter den Naturwissenschaften, der Mechanik, bezeichnet, die in der Natur vorkommenden Bewegungen vollständig und auf die einfachste Weise zu beschreiben. Was das „Verdüstern" betrifft, so geschieht dies in der That, wenn wir im Reiche der abstracten Begriffe stehen bleiben, und uns nicht den thatsächlichen Sinn derselben aus einander legen, d. h. uns klar machen, welche beobachtbaren neuen gesetzlichen Verhältnisse zwischen den Erscheinungen daraus folgen. Jede richtig gebildete Hypothese stellt ihrem thatsächlichen Sinne nach ein allgemeineres Gesetz der Erscheinungen hin, als wir bisher unmittelbar beobachtet haben; sie ist ein Versuch, zu immer allgemeinerer und umfassenderer Gesetzlichkeit aufzusteigen. Was sie an Thatsachen Neues behauptet, muss durch Beobachtung und Versuch geprüft und bestätigt werden. Hypothesen, die einen solchen thatsächlichen Sinn nicht haben, oder überhaupt nicht

sichere und eindeutige Bestimmungen für die unter sie fallenden Thatsachen geben, sind nur als werthlose Phrasen zu betrachten.

Jede Zurückführung der Erscheinungen auf die zu Grunde liegenden Substanzen und Kräfte behauptet etwas Unveränderliches und Abschliessendes gefunden zu haben. Zu einer unbedingten Behauptung dieser Art sind wir nie berechtigt; das erlaubt weder die Lückenhaftigkeit unseres Wissens, noch die Natur der Inductionsschlüsse, auf denen all unsere Wahrnehmung des Wirklichen vom ersten Schritte an beruht.

Jeder Inductionsschluss stützt sich auf das Vertrauen, dass ein bisher beobachtetes gesetzliches Verhalten sich auch in allen noch nicht zur Beobachtung gekommenen Fällen bewähren werde. Es ist dies ein Vertrauen auf die Gesetzmässigkeit alles Geschehens. Die Gesetzmässigkeit aber ist die Bedingung der Begreifbarkeit. Vertrauen in die Gesetzmässigkeit ist also zugleich Vertrauen auf die Begreifbarkeit der Naturerscheinungen. Setzen wir aber voraus, dass das Begreifen zu vollenden sein wird, dass wir ein letztes Unveränderliches als Ursache der beobachteten Veränderungen werden hinstellen können, so nennen wir das regulative Princip unseres Denkens, was uns dazu treibt, das Causalgesetz. Wir können sagen, es spricht das Vertrauen auf die vollkommene Begreifbarkeit der Welt aus. Das Begreifen, in dem Sinne, wie ich es beschrieben habe, ist die Methode, mittelst deren unser Denken die Welt sich unterwirft, die Thatsachen ordnet, die Zukunft voraus bestimmt. Es ist sein Recht und seine Pflicht, die Anwendung dieser Methode auf alles Vorkommende auszudehnen, und wirklich hat es auf diesem Wege schon grosse Ergebnisse geerntet. Für die Anwendbarkeit des Causalgesetzes haben wir aber keine weitere Bürgschaft, als seinen Erfolg. Wir könnten in einer Welt leben, in der jedes Atom von jedem anderen verschieden wäre, und wo es nichts Ruhendes gäbe. Da würde keinerlei Regelmässigkeit zu finden sein, und unsere Denkthätigkeit müsste ruhen.

Das Causalgesetz ist wirklich ein a priori gegebenes, ein transcendentales Gesetz. Ein Beweis desselben aus der Erfahrung ist nicht möglich; denn die ersten Schritte der Erfahrung sind nicht möglich, wie wir gesehen haben, ohne die Anwendung von Inductionsschlüssen, d. h. ohne das Causalgesetz; und aus der vollendeten Erfahrung, wenn sie auch lehrte, dass alles bisher

Beobachtete gesetzmässig verlaufen ist. — was zu versichern wir doch lange noch nicht berechtigt sind, — würde immer nur erst durch einen Inductionsschluss, d. h. unter Voraussetzung des Causalgesetzes, folgen können, dass nun auch in Zukunft das Causalgesetz giltig sein würde. Hier gilt nur der eine Rath: Vertraue und handle!

Das Unzulängliche
Dann wird's Ereigniss.

Das wäre die Antwort, die wir auf die Frage zu geben haben: was ist Wahrheit in unserem Vorstellen? In dem, was mir immer als der wesentlichste Fortschritt in Kant's Philosophie erschienen ist, stehen wir noch auf dem Boden seines Systems. In diesem Sinne habe ich auch in meinen bisherigen Arbeiten häufig die Uebereinstimmung der neueren Sinnesphysiologie mit Kant's Lehren betont, aber damit freilich nicht gemeint, dass ich auch in allen untergeordneten Punkten in verba magistri zu schwören hätte. Als wesentlichsten Fortschritt der neueren Zeit glaube ich die Auflösung des Begriffs der Anschauung in die elementaren Vorgänge des Denkens betrachten zu müssen, die bei Kant noch fehlt, wodurch dann auch seine Auffassung der Axiome der Geometrie als transcendentaler Sätze bedingt ist. Es sind hier namentlich die physiologischen Untersuchungen über die Sinneswahrnehmungen gewesen, welche uns an die letzten elementaren Vorgänge des Erkennens hingeführt haben, die noch nicht in Worte fassbar, der Philosophie unbekannt und unzugänglich bleiben mussten, so lange diese nur die in der Sprache ihren Ausdruck findenden Erkenntnisse untersuchte.

Denjenigen Philosophen freilich, welche die Neigung zu metaphysischen Speculationen beibehalten haben, erscheint gerade das als das Wesentlichste an Kant's Philosophie, was wir als einen von der ungenügenden Entwickelung der Specialwissenschaften seiner Zeit abhängigen Mangel betrachtet haben. In der That stützt sich Kant's Beweis für die Möglichkeit einer Metaphysik, von welcher angeblichen Wissenschaft er selbst doch nichts weiter zu entdecken wusste, ganz allein auf die Meinung, dass die Axiome der Geometrie und die verwandten Principien der Mechanik transcendentale, a priori gegebene Sätze seien. Uebrigens widerspricht sein ganzes System eigentlich der Existenz der Metaphysik und die dunklen Punkte seiner Erkenntnisstheorie, über deren Interpretation so viel gestritten worden ist, stammen von dieser Wurzel ab.

Nach alledem hätte die Naturwissenschaft ihren sichern Boden, auf dem feststehend sie die Gesetze des Wirklichen suchen kann, ein wunderbar reiches und fruchtbares Arbeitsfeld. So lange sie sich auf diese Thätigkeit beschränkt, wird sie von idealistischen Zweifeln nicht getroffen. Solche Arbeit mag bescheiden erscheinen im Vergleich zu den hochfliegenden Plänen der Metaphysiker.

Doch mit Göttern
Soll sich nicht messen
Irgend ein Mensch.
Hebt er sich aufwärts
Und berührt
Mit dem Scheitel die Sterne,
Nirgends haften dann
Die unsicheren Sohlen,
Und mit ihm spielen
Wolken und Winde.

Steht er mit festen
Markigen Knochen
Auf der wohlgegründeten
Dauernden Erde:
Reicht er nicht auf,
Nur mit der Eiche
Oder der Rebe
Sich zu vergleichen.

Immerhin mag uns das Vorbild dessen, der dies sagte, lehren, wie ein Sterblicher, der wohl zu stehen gelernt hatte, auch wenn er mit dem Scheitel die Sterne berührte, noch das klare Auge für Wahrheit und Wirklichkeit behielt. Etwas von dem Blicke des Künstlers, von dem Blicke, der Goethe und auch Lionardo da Vinci zu grossen wissenschaftlichen Gedanken leitete, muss der rechte Forscher immer haben. Beide, Künstler wie Forscher, streben, wenn auch in verschiedener Behandlungsweise, dem Ziele zu, neue Gesetzlichkeit zu entdecken. Nur muss man nicht müssiges Schwärmen und tolles Phantasiren für künstlerischen Blick ausgeben wollen. Der rechte Künstler und der rechte Forscher wissen beide recht zu arbeiten und ihrem Werke feste Form und überzeugende Wahrheitstreue zu geben.

Uebrigens hat sich bisher die Wirklichkeit der treu ihren Gesetzen nachforschenden Wissenschaft immer noch viel erhabener und reicher enthüllt, als die äussersten Anstrengungen mythi-

scher Phantasie und metaphysischer Speculation sie auszumalen gewusst hatten. Was wollen alle die ungeheuerlichen Ausgeburten indischer Träumerei, die Häufungen riesiger Dimensionen und Zahlen sagen gegen die Wirklichkeit des Weltgebäudes, gegen die Zeiträume, in denen Sonne und Erde sich bildeten, in denen das Leben während der geologischen Geschichte sich entwickelte, in immer vollendeteren Formen sich den beruhigteren physikalischen Zuständen unseres Planeten anpassend.

Welche Metaphysik hat Begriffe vorbereitet von Wirkungen, wie sie Magnete und bewegte Elektricität auf einander ausüben, um deren Zurückführung auf wohlbestimmte Elementarwirkungen die Physik im Augenblick noch ringt, ohne zu einem klaren Abschluss gelangt zu sein. Aber schon scheint auch das Licht nichts als eine andere Bewegungsweise jener beiden Agentien, und der raumfüllende Aether erhält als magnetisirbares und elektrisirbares Medium ganz neue charakteristische Eigenschaften.

Und in welches Schema scholastischer Begriffe sollen wir diesen Vorrath von wirkungsfähiger Energie einreihen, dessen Constanz das Gesetz von der Erhaltung der Kraft aussagt, der, unzerstörbar und unvermehrbar wie eine Substanz, als Triebkraft in jeder Bewegung des leblosen, wie des lebendigen Stoffes thätig ist, ein Proteus in immer neue Formen sich kleidend, durch den unendlichen Raum wirkend und doch nicht ohne Rest theilbar mit dem Raume, das Wirkende in jeder Wirkung, das Bewegende in jeder Bewegung, und doch nicht Geist und nicht Materie? — Hat ihn der Dichter geahnt?

In Lebensfluthen, in Thatensturm,
Wall' ich auf und ab,
Webe hin und her!
Geburt und Grab,
Ein ewiges Meer,
Ein wechselnd Weben,
Ein glühend Leben,
So schaff' ich am sausenden Webstuhl der Zeit,
Und wirke der Gottheit lebendiges Kleid.

Wir, Stäubchen auf der Fläche unseres Planeten, der selbst kaum ein Sandkorn im unendlichen Raume des Weltalls zu nennen ist, wir, das jüngste Geschlecht unter den Lebendigen der Erde, nach geologischer Zeitrechnung kaum der Wiege entstiegen, noch im Stadium des Lernens, kaum halb erzogen,

lig gesprochen nur aus gegenseitiger Rücksicht, und doch
ı durch den kräftigeren Antrieb des Causalgesetzes über alle
'e Mitgeschöpfe hinausgewachsen und sie im Kampf um das
.n bezwingend, haben wahrlich Grund genug, stolz zu sein,
es uns gegeben ist „die unbegreiflich hohen Werke" in treuer
it langsam verstehen zu lernen, und wir brauchen uns nicht
lindesten beschämt zu fühlen, wenn dies nicht gleich im
a Ansturm eines Icarusfluges gelingt.

Die neuere Entwickelung von Faraday's Ideen über Elektricität

---

Vortrag
zu Faraday's Gedächtnissfeier gehalten vor der Chemischen Gesellschaft zu London
1881

Hochgeehrte Versammlung!

Ihrer ehrenvollen Aufforderung folgend soll ich heute auf derselben Stelle zu Ihnen reden, von welcher aus der grosse Naturforscher, dessen Gedächtniss wir feiern, so oft seine bewundernden Zuhörer durch Enthüllung ungeahnter Geheimnisse der Natur überrascht hat. Zuvörderst bitte ich um die Erlaubniss, meine heutigen Auseinandersetzungen auf diejenige Seite seiner Thätigkeit beschränken zu dürfen, mit der ich am besten durch eigene Untersuchungen und Beobachtungen bekannt bin, nämlich auf das Studium der Elektricitätslehre. In der That ist ja auch der grössere Theil von Faraday's eigenen Untersuchungen diesem Zweige der Physik zugewendet gewesen, und seine hervorragendsten Entdeckungen hat er in diesem Gebiete gemacht. Die Thatsachen, welche er hier gefunden hat, sind allgemein bekannt; jedes Lehrbuch der Physik handelt von ihnen, jeder Studirende der Naturwissenschaften hat sie gesehen. Die Drehung der Polarisationsebene des Lichtes durch Magnetismus, die Erscheinungen des Diamagnetismus im Wismuth, die diëlektrische Polarisation der elektrischen Isolatoren, sind bekannte Dinge; jeder Physiker weiss das Voltameter zu brauchen, um elektrische Ströme zu messen, während inducirte Ströme das Telephon sprechen machen, gelähmte Muskeln wieder in Thätigkeit setzen und als Quelle des elektrischen Lichtes gebraucht werden. Als der erste Entdecker einer so zahlreichen, wichtigen und so überraschenden Reihe neuer Thatsachen hat Faraday die allgemeinste Bewunderung und Anerkennung gefunden. Wer hätte auch seine Augen dagegen verschliessen können?

Anders verhielt es sich dagegen mit den Vorstellungen, welche er sich über das innere Wesen dieser Vorgänge gebildet hatte, und welche ihm den Weg zu seinen vielbewunderten Ent-

deckungen gewiesen. Sie wurden anfangs kaum verstanden, wenig beachtet und wohl meist als Wunderlichkeiten bei Seite geschoben. In der That wichen sie stark ab von den gewohnten Bahnen wissenschaftlicher Erklärungen und erst allmählich haben wir sie auch nur zu verstehen gelernt. Das wesentliche Ziel, was er hierbei verfolgte, bestand darin, dass er in seinen theoretischen Vorstellungen nur beobachtbare und beobachtete Thatsachen ausdrücken wollte mit sorgfältigster Vermeidung jeder Einmischung hypothetischer Elemente. Dieses Bestreben von seiner Seite war auf einen wesentlichen Fortschritt in den Principien wissenschaftlicher Methodik gerichtet, dessen Ziel es ist, die Naturwissenschaft von den letzten Ueberbleibseln der Metaphysik zu befreien. Faraday war nicht gerade der Erste und nicht der Einzige unter seinen Zeitgenossen, der dieser Richtung nachstrebte. Ich habe bei einer anderen Gelegenheit[1]) schon darauf aufmerksam gemacht, dass Goethe sich ein ähnliches Ideal für die Endziele naturwissenschaftlicher Auffassung gebildet hatte; auch Alexander von Humboldt suchte dasselbe zu verwirklichen. Aber so radical wie Faraday ist wohl keiner von den Zeitgenossen vorgegangen, und keiner hat dem neuen Princip eine so energische und so fruchtbare praktische Anwendung gegeben.

Nun führt jede tiefgreifende Veränderung der grundlegenden Principien und Voraussetzungen einer Wissenschaft nothwendig die Bildung neuer abstracter Begriffe und ungewohnter Vorstellungsverbindungen mit sich, in welche sich die zeitgenössischen Leser nur langsam einleben, wenn sie überhaupt geneigt sind, sich diese Mühe zu geben. Der Sinn einer neuen Abstraction kann erst dann als klar verstanden gelten, wenn die Art ihrer Anwendung auf die wesentlichsten Gruppen der Einzelfälle, die darunter zu ordnen sind, durchgedacht und richtig befunden ist. Neue Abstractionen in allgemeinen Sätzen zu definiren, so dass nicht Missverständnisse aller Art vorkommen könnten, ist sehr schwer. Dem Urheber eines solchen neuen Gedankens wird es dann meist viel schwerer, herauszufinden, warum die Anderen ihn nicht verstehen, als ihm die Entdeckung der neuen Wahrheit gewesen. In Faraday's Falle kam dazu, dass er, der Sohn eines Schmiedes, dann als Buchbinderlehrling beschäftigt, nicht

---

[1]) In meinem Vortrag über Goethe's naturwissenschaftliche Arbeiten, Bd. I, S. 23 dieser Sammlung.

durch dieselbe Schule wissenschaftlicher Disciplinirung gegangen war, wie die Mehrzahl seiner Leser.

Seitdem die mathematische Interpretation von Faraday's Sätzen durch Clerk Maxwell in den methodisch durchgearbeiteten Formen der Wissenschaft gegeben ist, sehen wir freilich, welch eine scharfe Bestimmtheit der Vorstellungen und welche genaue Folgerichtigkeit hinter Faraday's Worten verborgen ist, welche seinen Zeitgenossen unbestimmt und dunkel erschienen; und es ist im höchsten Grade merkwürdig, zu sehen, welch eine grosse Zahl umfassender Theoreme, deren methodischer Beweis das Aufgebot der höchsten Kräfte der mathematischen Analysis erfordert, er durch eine Art innerer Anschauung mit instinctiver Sicherheit gefunden hat, ohne eine einzige mathematische Formel aufzustellen. Ich möchte Faraday's Zeitgenossen nicht herabsetzen, weil sie das verkannt haben; ich weiss zu wohl, wie oft ich selbst gesessen habe, hoffnungslos auf eine seiner Beschreibungen von Kraftlinien und von deren Zahl und Spannung starrend, oder den Sinn von Sätzen suchend, wo der galvanische Strom als eine Axe der Kraft bezeichnet wird, und Aehnliches mehr. Eine einzelne bemerkenswerthe Entdeckung kann natürlich auch durch einen glücklichen Zufall herbeigeführt werden und beweist noch nicht immer, dass der Gedankengang, durch den ihr Autor dazu geleitet worden ist, richtig, und dass er selbst ein ungewöhnlich begabter Mann sei. Es wäre aber gegen alle Gesetze der Wahrscheinlichkeit, dass eine zahlreiche Reihe der wichtigsten Entdeckungen, wie sie Faraday aufzuweisen hat, aus Vorstellungen entspringen könnte, die nicht wirklich eine richtige, wenn auch vielleicht noch tief verborgene Grundlage von Wahrheit in sich enthalten sollten. Wir werden auch in seinem Falle vielleicht daran denken müssen, dass die grossen Wohlthäter der Menschheit gerade für das Beste, was sie geleistet, nicht immer schon während ihres Lebens volle Anerkennung gefunden, und dass neue Ideen gewöhnlich desto langsamer sich Bahn brechen, je mehr wirklich Ursprüngliches sie enthalten, und je mehr sie umgestaltend auf die Art der wissenschaftlichen Thätigkeit zu wirken geeignet sind.

Obgleich viele von Faraday's elektrischen Untersuchungen sich mit anscheinend nebensächlichen und unwichtigen Dingen befassen, die übrigens alle mit derselben aufmerksamen Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit behandelt werden: so kann man bei näherer Betrachtung doch immer ihren Zusammenhang mit zwei

fundamentalen Problemen der Naturwissenschaft erkennen, deren eines das Wesen der Kräfte betrifft, die man gewöhnlich mit dem Namen der „physikalischen“ bezeichnet, d. h. der Kräfte, welche in die Entfernung wirken, das andere dagegen die chemischen Kräfte, welche nur in nächster Nähe von Molekel zu Molekel wirken, sowie das Verhältniss der letzteren Kräfte zu den ersteren.

Ich kann heute nur eine ganz kurze Schilderung des Standpunktes geben, welchen die Elektricitätslehre gegenwärtig in Bezug auf das erste der beiden Probleme erreicht hat. Die darüber geführten Discussionen sind noch nicht beendigt, die Meinungen gehen weit aus einander, obgleich, wie mir scheint, die Gründe für eine endliche Entscheidung schon erkennbar sind. Eine eingehendere Besprechung dieser Streitfragen würde uns tief in mathematische und mechanische Probleme verwickeln, und schliesslich könnte ich die Gründe pro et contra, sowie die Art der Entscheidung doch in einer kurzen öffentlichen Vorlesung nicht in der Weise aus einander setzen, dass ich darauf rechnen dürfte, meine Zuhörer zu einer begründeten wissenschaftlichen Ueberzeugung zu führen. Ich kann daher über diese Seite meiner heutigen Aufgabe nur einen kurzen Bericht geben, der meinem eigenen Urtheile über die Sache gemäss abgefasst ist. Aber ich will dabei nicht verschweigen, dass einige Männer von grossen wissenschaftlichen Verdiensten, namentlich unter meinen eigenen Landsleuten, noch nicht meiner Meinung sind.

Das grosse fundamentale Problem, welches Faraday wieder zur Discussion brachte, war die Frage, ob es Kräfte giebt, die unmittelbar und ohne Betheiligung eines dazwischen liegenden Mediums in die Ferne wirken. Während des vorigen und gegenwärtigen Jahrhunderts hatte die zwischen den Weltkörpern wirkende Gravitationskraft als das gemeinsame Vorbild für fast alle physikalischen Theorien gedient. Es ist bekannt, mit wie viel Vorsicht und wie zögernd Isaak Newton selbst diese seine Hypothese vortrug, welche bestimmt war, das erste grossartige und sieghafte Beispiel für die Fruchtbarkeit und die Macht wahrer wissenschaftlicher Methode zu werden. Später vergass man unter dem Eindruck des Erfolges die Bedenken, die bei Newton und seinen Zeitgenossen noch so mächtig waren. Wir dürfen uns nicht wundern, dass Newton's Nachfolger zunächst versuchten, ähnliche Erfolge zu erreichen, indem sie sich bemühten, auch alle anderen physikalischen Vorgänge durch die

Annahme von Fernkräften zu erklären. Die Phänomene, welche die in ihren Leitern ruhende Elektricität und der Magnetismus darbieten, schienen sogar eine besonders nahe Verwandtschaft mit denen der Gravitation darzubieten, da das von Coulomb gefundene Gesetz, nach welchem die Wirkung der anziehenden und abstossenden Kräfte dieser Agentien mit steigender Entfernung abnimmt, nämlich umgekehrt proportional dem Quadrate des Abstands, in den drei genannten Fällen genau das gleiche ist.

Dann aber kam Oersted's Entdeckung über die Bewegungen, welche Magnete unter Einwirkung elektrischer Ströme ausführen. Die elektromagnetischen Kräfte, welche diese Bewegungen hervorrufen, haben einen sehr auffallenden und eigenthümlichen Charakter. Es schien nämlich, als ob dieselben einen einzelnen isolirten Pol eines Magneten fortdauernd im Kreise herumtreiben müssten, ohne Ende, ohne jemals ein Ziel zu erreichen, an welchem seine Bewegung endete. Nun ist es freilich nicht möglich, einen einzelnen Pol eines Magneten von dem entgegengesetzten Pol zu trennen; indessen gelang es Ampère in der That, diese Kreisbewegung ohne Ende hervorzubringen, indem er einen Theil des Stromleiters mit dem Magneten beweglich machte.

Dieser Charakter der elektromagnetischen Kraft war der Ausgangspunkt für Faraday's Beschäftigung mit der Elektricität. Er sah, dass eine Bewegung von solcher Art nicht durch irgend eine Combination anziehender oder abstossender Kräfte hervorgebracht werden konnte, die von einem materiellen Punkt zum anderen wirkten. Es scheint ihn hierbei eine instinctive Vorahnung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft geleitet zu haben, wie sich eine solche bei vielen aufmerksamen Beobachtern von Naturprozessen entwickelt hatte, längst ehe Joule diesem Gesetz scharfe wissenschaftliche Fassung gegeben und die wesentlichste Lücke in dem empirischen Beweise desselben ausgefüllt hatte. Wenn ein galvanischer Strom einen Magneten in der beschriebenen Weise in Bewegung setzen und mit steigender Geschwindigkeit vorwärts treiben kann: so muss nothwendig eine Rückwirkung des bewegten Magneten auf den Strom stattfinden, wodurch Stromeskraft verzehrt wird. Faraday stellte dem entsprechende Versuche an und fand die durch die Bewegung des Magneten erregten Ströme, welche man inducirte Ströme nennt. Er verfolgte deren Vorkommen durch alle die verschiedenen Bedingungen, unter denen sie entstehen können. Er fand, dass eine elektromotorische Kraft, die solche Ströme

hervorzubringen strebt, überall und immer da auftritt, wo magnetische Kraft neu entsteht, anwächst oder schwindet. Daraus schloss er, dass jeder Theil des Raumes, in dem magnetische Kraft wirksam ist, sich in einem dauernd veränderten Zustande befindet, in einer Art von Spannung, welche in den ursprünglichen Zustand zurückzukehren strebt, sobald die magnetische Einwirkung aufhört, und dass jede Aenderung in diesem Zustande sich durch das Auftreten elektromotorischer Kräfte zu erkennen giebt. Diesen unbekannten hypothetischen Zustand des raumfüllenden Medium nannte er provisorisch den elektrotonischen Zustand, und war dann während einer langen Reihe von Jahren bemüht, herauszufinden, was das Wesen dieses elektrotonischen Zustandes sei. Er entdeckte zuerst 1838 die diëlektrische Polarisation, welche in elektrischen Isolatoren eintritt, wenn sie elektrischen Anziehungskräften ausgesetzt werden. Solche Körper zeigen unter dem Einflusse elektrischer Anziehungskräfte ganz ähnliche Zeichen einer in ihren Molekeln zu Stande gekommenen elektrischen Vertheilung, wie sie weiches Eisen in Bezug auf Magnetisirung unter dem Einflusse magnetischer Kraft zeigt. Elf Jahre später, 1849, war er endlich im Stande, nachzuweisen, dass nicht nur Eisen und die verwandten Körper, sondern geradezu alle wägbaren Substanzen unter dem Einflusse hinreichend starker magnetischer Kraft deutlich erkennbare Spuren der Magnetisirung zeigen; ja die von ihm gleichzeitig entdeckten Erscheinungen des Diamagnetismus scheinen anzuzeigen, dass sogar der von allen wägbaren Massen geleerte Raum, beziehlich der in ihm noch enthaltene Lichtäther, magnetisirbar ist. In der That erklären sich die Erscheinungen des Diamagnetismus bei weitem am einfachsten und ungezwungensten, wenn man annimmt, dass diamagnetisch solche Körper sind, die weniger magnetisirbar sind, als das sie umgebende raumfüllende Medium. So waren nun wirklich wahrnehmbare Veränderungen nachgewiesen, die jenem theoretisch geforderten elektrotonischen Zustande entsprechen konnten, und nun ging Faraday daran, in seinem Kopfe eine Arbeit durchzuführen, die der Natur der Sache nach die eines grossen Mathematikers war, ohne dabei eine einzige mathematische Formel zu brauchen. Er machte sich klar, dass magnetisirte und diëlektrisch polarisirte Körper ein Bestreben haben müssten, sich in Richtung der sie durchziehenden Kraftlinien zusammenzuziehen, dagegen sich quer gegen die Richtung dieser Linien zu dehnen. Er erkannte dann mittelst der

wunderbar klaren und lebhaften Intuition, die er sich von diesen Vorgängen gebildet hatte, dass dieses System von Spannungen in der einen und von Druck in den anderen Richtungen, welches den ganzen Raum ringsum elektrisirte und magnetisirte, oder von elektrischen Strömen durchflossene Körper durchsetzte, im Stande ist, alle Erscheinungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Anziehung, Abstossung und Induction zu erklären, ohne dass man überhaupt auf Kräfte zurückzugehen braucht, die unmittelbar in die Ferne wirken. Dies war der Theil seines Weges, wo so wenige ihm folgen konnten. Es war ein Clerk Maxwell nöthig, ein zweiter Mann von derselben Tiefe und Selbständigkeit der Einsicht, um in den normalen Formen des systematischen Denkens das grosse Gebäude auszuführen, dessen Plan Faraday in seinem Geiste entworfen hatte, welches er klar vor sich sah und welches er sich bemühte, seinen Zeitgenossen sichtbar zu machen.

Es wird kaum bestritten werden können, dass diese neue Theorie der elektrischen und magnetischen Erscheinungen, deren Urheber Faraday gewesen und deren Ausarbeitung Maxwell gegeben hat, in sich selbst vollkommen consequent, in genauer und vollständiger Uebereinstimmung mit allen bekannten Beobachtungsthatsachen ist, und dass sie in keiner ihrer Forderungen in Widerspruch mit den fundamentalen Axiomen der Dynamik tritt, welche sich bisher als ausnahmslos giltige Gesetze für alle bekannten Naturerscheinungen erwiesen haben; ich meine besonders das Gesetz von der Erhaltung der Kraft und das Gesetz von der Gleichheit der Action und Reaction. Eine Bestätigung von ganz besonderer Wichtigkeit erhält die genannte Theorie noch dadurch, dass, wie Maxwell nachwies, genau dieselben Eigenschaften des imponderablen raumfüllenden Medium, welche ihm beigelegt werden mussten, um die Erscheinungen der Elektricität und des Magnetismus zu erklären, auch das Entstehen und die Verbreitung von elektrischen und magnetischen Oscillationen möglich machen, die wie Lichtschwingungen quer gegen den Strahl gerichtet, mit der gleichen Geschwindigkeit wie das Licht sich fortpflanzen müssen. Elektricität, Magnetismus und Licht würden danach nur verschiedene Zustände und Bewegungen desselben Medium sein. Zu erwähnen ist, dass verschiedene Theile der Theorie des Lichts sich leichter und einfacher aus dieser neuen Hypothese herleiten lassen, als aus der älteren Form der Undulationstheorie von Huyghens, welche dem

Lichtäther die Eigenschaften eines festelastischen Körpers zuschreibt.

Indessen haben die Anhänger unmittelbarer Wirkung in die Ferne noch nicht aufgehört, nach entsprechenden Lösungen des elektromagnetischen Problems zu suchen. Schon Ampère hatte die Bewegungskräfte, welche zwei von elektrischen Strömen durchflossene Drähte auf einander ausüben, in sehr geistreicher und findiger Weise auf anziehende und abstossende Fernkräfte zurückgeführt, die aber nicht als zwischen je zwei Punkten der Leiter wirkend dargestellt werden konnten, sondern als wirkend zwischen kleinsten Längenelementen der Leiter. Denn ihre Stärke musste in ziemlich verwickelter Weise als Function der Winkel dargestellt werden, welche die Richtung der beiden wirkenden Stromstücke theils mit ihrer gemeinsamen Verbindungslinie, theils mit einander bilden. Ampère selbst kannte die inducirten elektrischen Ströme noch nicht. Aber auch die Gesetze dieser letzteren konnten mit Hülfe seines Gesetzes abgeleitet werden, wenn man die von Faraday experimentell gefundene Regel benutzte, dass die durch Bewegung von Magneten oder Stromleitern inducirten Ströme immer dieser Bewegung widerstehen. Die allgemeine mathematische Formulirung des daraus herfliessenden Gesetzes für die Stärke der inducirten Ströme verdanken wir F. E. Neumann in Königsberg. Auch dieses Gesetz, da es aus dem von Ampère abgeleitet war, ging nicht zurück auf Wirkungen von Punkt zu Punkt, sondern auf Wirkungen von Längenelementen der Stromleiter auf einander. Letztere sind verglichen mit ersteren natürlich immer noch als höchst zusammengesetzte Gebilde zu betrachten. Ich selbst habe verschiedene mathematische Abhandlungen über dieses unter dem Namen des Potentialgesetzes bekannt gewordene Neumann'sche Gesetz veröffentlicht, welches in etwas verallgemeinerter Form ausgesprochen, in viel einfacherer und viel umfassenderer Weise als Ampère's ursprüngliches Gesetz die sämmtlichen Erscheinungen geschlossener Ströme mit den Thatsachen übereinstimmend und quantitativ genau darstellte, wie sich ganz allgemein zeigen liess. Ueber die meist ausserordentlich schwachen elektrodynamischen Wirkungen ungeschlossener Ströme, d. h. solcher, die zur Ansammlung von Elektricität an einzelne Stellen der Leiter führen, war zur Zeit noch sehr wenig bekannt. Ich konnte nachweisen, dass auf diese Fälle angewendet das Potentialgesetz wenigstens nirgends in Widerspruch mit den allgemeinen Axiomen der

Mechanik führe. Darin lag meines Erachtens ein grosser und wesentlicher Vorzug des Neumann'schen Gesetzes allen anderen bekannt gewordenen Hypothesen über elektrische Fernkräfte gegenüber. Von Faraday's Annahmen unterschied es sich dadurch, dass es elektrodynamische Wirkungen nur den in den Leitern vorgehenden elektrischen Strömungen zuschreibt, und die diëlektrischen Ladungen, welche in den zwischen den Leitern liegenden Isolatoren entstehen, nicht als elektrodynamisch wirksam betrachtet.

Der Zweck meiner mathematischen Arbeiten in diesem Gebiete war gewesen zu finden, in welcher Richtung Versuche angestellt werden müssten, um zwischen den verschiedenen möglichen Theorien zu entscheiden. Es gelang mir, einen solchen Versuch über die Elektricität, die sich an der Oberfläche eines im magnetischen Felde rotirenden Leiters sammelt, auszuführen [1].

Dieser Versuch entschied für Faraday, und liess sich mit dem Potentialgesetz nur durch die Annahme vereinigen, dass die in den Isolatoren zwischen zwei sich ladenden Leitern zu Stande kommende diëlektrische Polarisation eine elektrische Bewegung ist, die dem jene Leiterstücke ladenden Strom äquivalente Intensität und äquivalente elektrodynamische Wirkung hat.

Andere Physiker, und zwar Männer von hervorragender Bedeutung, haben versucht, die elektrodynamischen Erscheinungen aus der Annahme von Fernkräften herzuleiten, die zwischen je zwei Quantis der hypothetischen elektrischen Fluida wirken sollten, deren Intensität aber nicht allein von deren Entfernung, sondern auch von deren Geschwindigkeiten und Beschleunigungen abhängig sein sollte. Am meisten bekannt geworden ist unter dieser Klasse von Theorien die von Wilhelm Weber in Göttingen; eine andere fand sich in den nachgelassenen Papieren des genialen Mathematikers Riemann, eine dritte ist kürzlich von Clausius in Bonn veröffentlicht worden. Alle diese Theorien ergeben die Phänomene geschlossener Ströme vollkommen richtig und übereinstimmend, aber sie kommen andererseits alle in Widerspruch mit den allgemeinen Axiomen der Dynamik, wenn man sie auf ungeschlossene Ströme anwendet.

Die Weber'sche Hypothese lässt das Gleichgewicht der Elektricität als labil erscheinen in jedem Leiter von mässiger

[1] Poggendorff's Annalen, Bd. 158, S. 87. — Meine wissenschaftliche Abhand., Bd. I, S. 774. Leipzig 1882.

Ausdehnung nach drei Dimensionen und lässt es als möglich erscheinen, dass unendlich grosse Arbeitsäquivalente aus endlichen körperlichen Massen entwickelt werden können. Ich finde nicht, dass die Einwürfe, die in dieser Beziehung von Sir William Thomson und P. G. Tait vorgebracht und von mir selbst im Einzelnen durchgeführt wurden, durch die darüber geführte Polemik entkräftet worden sind. Es ist deshalb auch keiner der Vertheidiger des Weber'schen Gesetzes im Stande gewesen, brauchbare Gesetze für die Bewegung der Elektricität in körperlich ausgedehnten Leitern aus demselben abzuleiten, welche sich aus den anderen nicht mit demselben Fehler behafteten Gesetzen leicht ergeben. Die Hypothese von Riemann, welche dieser, wie bemerkt, nicht selbst veröffentlicht hat, leidet an demselben Fehler und ist gleichzeitig im Widerspruch mit Newton's Axiom von der Gleichheit der Action und Reaction. Die Hypothese von Clausius vermeidet den gegen die Weber'sche Hypothese zu erhebenden Einwurf, aber nicht den zweiten, und ihr Autor hat selbst zugegeben, dass, um sie davon zu befreien, man ein raumfüllendes Medium annehmen müsste, zwischen welchem einerseits und den Elektricitäten andererseits die Kräfte, die er annimmt, wirksam werden müssten. So werden wir auch von dieser Seite wieder auf die Mitwirkung eines Mediums zurückgewiesen.

So möchte die gegenwärtige Entwickelung dieses Zweiges der Theorie kaum noch einen anderen Ausweg übrig lassen, als Faraday's Annahme und demgemäss scheint die Hoffnung auf die endliche Vereinigung der entgegengesetzten Ansichten unter dieser Hypothese nahe zu rücken. Faraday's Annahme ist nämlich zur Zeit die einzige, die mit allen beobachteten Thatsachen zusammenstimmt und die durch keine ihrer Folgerungen in Widerspruch mit den allgemeinen Grundsätzen der Dynamik tritt.

Clerk Maxwell hat diese Theorie wesentlich nur für die Wirkungen geschlossener leitender Kreise durchgeführt. Ich habe in den letzten Jahren mich auch mit den Folgerungen beschäftigt, die sich für nicht zum Kreise geschlossene Leiter ergeben, und habe mich schon überzeugt, dass die Theorie im Einklang ist mit den wenigen bisher in dieser Richtung gesammelten Thatsachen. Zu diesen rechne ich 1. die oscillatorische Entladung eines Condensators durch eine Drahtspirale; 2. meine eigenen Versuche über die elektrische Ladung der Oberfläche rotirender Leiter im magnetischen Felde; 3. Herrn Rowland's Beobachtungen über

die elektromagnetische Wirkung rotirender Scheiben, die mit Elektricität einer Art beladen sind.

Die entscheidende Annahme, welche der Faraday'schen Theorie zu Grunde liegt und welche allen Widerstreit der verschiedenen Theorien hebt, ist die vorher schon bezeichnete, wonach in allen zwischen den Leitern liegenden Isolatoren, wenn die begrenzenden Leiter sich elektrisch laden, diëlektrische Polarisation entsteht und zwar in solcher Stärke, dass die mit der Herstellung dieses Zustandes verbundene Bewegung der Elektricitäten als eine äquivalente Fortsetzung des die Leiter ladenden elektrischen Stromes angesehen werden kann. Machen wir diese Annahme, so giebt es nur geschlossene Ströme, und für geschlossene Ströme führen alle die verschiedenen genannten Theorien zu denselben Resultaten.

Wenn aber diese Annahme gemacht wird, so folgt auch weiter, dass die Wirkung der etwa noch angenommenen unmittelbaren Fernkräfte verschwinden muss gegen die der diëlektrischen und magnetischen Spannungen in den Isolatoren, beziehlich im raumfüllenden Aether.

Faraday's Hypothese setzt also das Zustandekommen bestimmter Veränderungen, magnetischer und diëlektrischer Polarisirung in den von elektrischen und magnetischen Kraftlinien durchzogenen Theilen des Raumes voraus, die wir wenigstens so weit direct beobachten können, als sich in verschiedenen Substanzen Differenzen ihrer Intensität zeigen. Daneben erscheinen die weiter gehenden Hypothesen, die wir uns etwa über das eigentliche Wesen der Elektricität und des Magnetismus bilden können, verhältnissmässig indifferent. Wir brauchen uns zunächst für keine derselben zu entscheiden. Faraday selbst vermied als echter Naturforscher soviel als möglich, irgend eine positive Behauptung über dies Problem hinzustellen, obgleich er andererseits seine Abneigung, an die Existenz zweier entgegengesetzter elektrischer Fluida zu glauben, nicht verhehlte.

Da ich nun aber zur Besprechung der elektrochemischen Vorgänge übergehen will, müssen wir wenigstens eine Uebereinkunft über die Ausdrucksweise treffen, in der ich Ihnen die Vorgänge darzustellen habe. Wir werden hauptsächlich von elektrischen Quantis zu reden haben, und deren Beziehungen lassen sich in der Sprache der alten dualistischen Theorie, wonach die beiden entgegengesetzten Elektricitäten zwei imponderable Flüssigkeiten sind, am leichtesten und bestimmtesten ausdrücken.

Sie ist ausserdem die bekannteste Vorstellungsweise, und ich bitte deshalb um die Erlaubniss, in der Sprache dieser Theorie zu Ihnen reden zu dürfen. Uebrigens will ich versuchen, Faraday so gut wie möglich nachzuahmen, indem ich streben werde, mich sorgfältig im Bereich der Thatsachen zu halten und zu vermeiden, dass das, was in der Hypothese als kurz zusammenfassender Ausdruck der Erscheinungen bildlich ausgedrückt ist, unberechtigten Einfluss auf unsere Vorstellung von den Thatsachen gewinne. Wenn wir die beiden Elektricitäten als Substanzen von entgegengesetztem Zeichen darstellen, so ist dies nur ein kurzer Ausdruck derjenigen Thatsachen, welche zeigen, dass niemals eine Quantität positiver Elektricität auftritt oder verschwindet, ohne dass gleichzeitig und in unmittelbarer Nähe eine gleich grosse Quantität negativer Elektricität auftritt oder verschwindet. Jedes Quantum für sich ist unzerstörbar und unvermehrbar, wie eine Substanz; nur dadurch, dass es sich mit dem gleichen Quantum entgegengesetzter Elektricität vereinigt, verschwindet es wenigstens für unsere Wahrnehmung.

Der ursprüngliche Begriff einer Substanz ist wohl zu unterscheiden von dem der Materie oder eines Stoffes. Substanz ist nur, *quod substat*, was hinter den wechselnden Erscheinungen quantitativ unveränderlich bleibt und in diesem ältesten weiteren Sinne des Worts würden wir jedenfalls die beiden Elektricitäten Substanzen nennen können, selbst wenn sie nicht von stofflicher Natur wären.

Ich sehe sehr wohl ein, dass diese alte dualistische Hypothese eine recht verwickelte und künstliche Maschinerie zur Erklärung der Erscheinungen aufstellt, und dass die mathematische Sprache Clerk Maxwell's die Gesetze der Thatsachen einfach und genau richtig mit einem viel geringeren Aufwand hypothetischer Annahmen ausdrückt. Aber um nachzuweisen, dass die Grösse, welche in Maxwell's Theorie die Quantität der Elektricität vertritt, die Unveränderlichkeit einer Substanz zeigen müsse, wäre eine vollständige Auseinandersetzung dieser Theorie nöthig, welche ohne Anwendung mathematischer Symbole nicht leicht zu geben und vielleicht auch nicht leicht zu verstehen wäre. Es ist wahrscheinlich auch in diesem Umstand der Grund zu suchen, warum sich die Maxwell'sche Theorie bisher noch so geringer Verbreitung in wissenschaftlichen Kreisen zu erfreuen hat.

Von den beiden älteren Theorien der Elektricität ziehe ich die dualistische vor, obgleich sie zwei imponderable Fluida statt

eines solchen annimmt, weil sie die thatsächliche Symmetrie zwischen der positiven und negativen Seite der elektrischen Erscheinungen im Ausdrucke bewahrt. Dieser Symmetrie wegen behalte ich auch die gewöhnlich gemachte Annahme bei, dass in jeden ponderablen Träger der Elektricität immer so viel negative Elektricität eintritt, als positive austritt, und umgekehrt. In der That kennen wir noch keine Thatsachen, die als eine Wirkung der Aenderung der gesammten neutralen Elektricität eines Körpers angesehen werden könnten. Zum Zwecke einer elektrochemischen Theorie, die wir zunächst zu verfolgen haben werden, ist auch die dualistische Hypothese viel geschickter als die unitarische, welche die Kräfte der negativen Elektricität direct der ponderablen Masse beilegt.

Ich gehe nun zu dem zweiten fundamentalen Problem über, dessen Aufhellung Faraday vorschwebte, nämlich dem Zusammenhange zwischen elektrischen und chemischen Kräften.

Schon ehe Faraday seine Arbeiten begann, hatte Berzelius eine elektrochemische Theorie aufgestellt und darin das Band gefunden, welches alle seiner Zeit bekannten chemischen Thatsachen in das umfassende System zu verknüpfen erlaubte, dessen Ausarbeitung das grosse Werk seines Lebens war. Sein Ausgangspunkt hierbei war die von Volta für die Metalle aufgestellte Spannungsreihe gewesen. Diese Reihe ist bekanntlich so geordnet, dass jedes Metall bei der Berührung mit jedem vorausgehenden sich negativ, mit jedem folgenden sich positiv ladet. Den Anfang oder das positive Ende der Reihe bilden die leicht verbrennlichen Metalle, das andere negative Ende dagegen die schwer oxydirbaren oder edlen Metalle. Je weiter zwei Metalle in der Reihe von einander entfernt sind, desto stärkere elektrische Ladungen nehmen sie in gegenseitiger Berührung an, und daraus folgt wieder, dass solche weit von einander abweichende Körper sich eben wegen dieser elektrischen Ladungen um so stärker anziehen und um so stärker bei molecularer Berührung an einander fest haften müssen. Dieselbe Fähigkeit, sich gegenseitig elektrisch zu erregen, schrieb Berzelius auch allen anderen Elementen zu; er ordnete sie dem entsprechend, wie Volta es mit den Metallen gethan, in eine Spannungsreihe, an deren positives Ende er Kalium, Natrium, Barium, Calcium und ähnliche basische Stoffe setzte, während am negativen Ende sich Sauerstoff, Chlor, Brom u. s. w. fanden. Zwei Atome von verschiedenen Elementar-

stoffen sollten bei ihrer Berührung sich elektrisch laden; indessen waren die Vorstellungen von Berzelius über die Vertheilungsweise der entgegengesetzten Elektricitäten in den Molekeln und die daraus gezogenen Folgerungen über die Grösse der Anziehungskräfte nicht besonders bestimmt oder klar, und möchten sich kaum mit den damals schon von Green und Gauss entwickelten allgemeinen Gesetzen der elektrischen Fernwirkungen vereinigen lassen. Ein wesentlicher Zug in seinen Vorstellungen war die später durch Faraday's Versuche widerlegte Voraussetzung, wonach die Menge der Elektricität, die sich in jedem der beiden verbundenen Atome ansammelte, von der Grösse ihres elektrochemischen Gegensatzes bedingt sein sollte. Davon sollte dann die verschiedene Stärke ihrer gegenseitigen Anziehung und somit die Grösse ihrer chemischen Verwandtschaft abhängen. Daraus ergab sich wiederum nothwendig seine Annahme, dass die chemischen Verbindungen überwiegend binär zusammengesetzt seien. Zwei Elementarstoffe, der eine als positiver, der andere als negativer Bestandtheil, konnten sich mit einander zu einer Verbindung erster Ordnung, einer Basis oder Säure vereinigen; zwei Verbindungen erster Ordnung wieder zu einer solchen zweiter Ordnung, einem Salze, wenn der positive Bestandtheil der Basis mit den gleichnamigen aber schwächer positiven der Säure noch neue Quanta Elektricität auswechselte. Andererseits liess Berzelius ein Atom eines positiven Elements sich nicht nur mit einem Atom eines negativen, sondern auch mit zwei, drei bis sieben solchen direct vereinigen. Es sind dies gerade diejenigen Annahmen in seiner Theorie, welche die neuere Chemie gänzlich verworfen hat. Dennoch liegt unverkennbar ein Kern von Wahrheit seinen Anschauungen zu Grunde. In der That haben die Chemiker, trotz aller Abweichungen des modernen Systems, nicht aufgehört, von positiven und negativen Bestandtheilen einer Verbindung zu sprechen. Es ist nicht zu verkennen, dass ein solcher Gegensatz der Eigenschaften, wie ihn Berzelius in dieser Theorie durchzuführen versuchte, wirklich besteht und zwischen den Endgliedern der Reihe sehr stark ausgesprochen ist, während er allerdings in den mittleren Gliedern weniger deutlich hervortritt; auch nicht, dass dieser Gegensatz eine wichtige Rolle in allen chemischen Vorgängen spielt, wenn er auch oft durch andere Nebeneinflüsse verdeckt und überwunden wird.

Die Vorgänge bei der Elektrolyse der chemischen Verbindungen erschienen natürlich auch Berzelius und seinen An-

hängern als eine Hauptstütze der elektrochemischen Theorie. Als nun Faraday sich zur Untersuchung dieser Vorgänge wandte, stellte er sich eine sehr einfache Frage, eine solche, die billiger Weise jeder Chemiker, der über Elektrolyse theoretisirte, vor allen andern hätte zu beantworten suchen sollen. Es war die Frage nach der Quantität der Zersetzungsproducte, die durch einen elektrischen Strom von bestimmter Stärke in gegebener Zeit gewonnen werden konnten. Seine Versuche über diesen Punkt führten ihn sogleich zu dem höchst bedeutsamen Gesetz, welches unter seinem Namen bekannt geworden ist und welches er selbst als das Gesetz von der bestimmten elektrolytischen Wirkung (law of definite electrolytic action) bezeichnete.

Als er seine Versuchsreihen begann, waren weder Daniell's, noch Grove's constante galvanische Batterieelemente bekannt, man hatte keinerlei Mittel, hydroelektrische Ströme von constant bleibender Intensität herzustellen, und ebenso unentwickelt waren die Methoden, diese Intensität zu messen. Dies muss seinen Vorgängern zur Entschuldigung gereichen. Faraday selbst umging diese Schwierigkeit, indem er einen und denselben Strom gleichzeitig durch zwei oder mehrere Zersetzungszellen hinter einander gehen liess. Zuerst wies er nach, dass die Form und Grösse der Zelle, die Grösse der Oberflächen der zuleitenden Metallplatten und deren Abstand von einander ohne merklichen Einfluss auf den Betrag der Zersetzung sind. Zellen, die dieselbe zersetzbare Flüssigkeit zwischen Platten desselben Metalls enthielten, gaben immer dieselbe Menge der gleichen Zersetzungsproducte, wenn der gleiche galvanische Strom gleich lange Zeit durch sie hindurchgegangen war. Nachdem dies festgestellt war, verglich er Zellen, die verschiedene Elektrolyte enthielten, und fand, dass in ihnen chemisch genau äquivalente Mengen der verschiedenen Elemente entweder ausgeschieden oder in andere Verbindungen übergeführt wurden.

Faraday schloss daraus, dass ein bestimmtes Quantum Elektricität eine Zelle, die angesäuertes Wasser zwischen Platinelektroden enthält, nicht passiren kann, ohne an der negativen Elektrode eine entsprechende bestimmte Menge von Wasserstoff und an der positiven Elektrode die äquivalente Menge Sauerstoff frei zu machen, je ein Atom des letzteren auf je zwei Atome des ersteren. Wenn statt des Wasserstoffs irgend ein anderes Element, welches Wasserstoff in seinen Verbindungen ersetzen kann, in einer zweiten Zelle ausgeschieden wird, so geschieht

dies in einer Menge, welche genau äquivalent ist dem gleichzeitig ausgeschiedenen Wasserstoff. Wenn wir diese Thatsachen von dem Standpunkte der modernen chemischen Valenztheorie ansehen, wonach die Atome verschiedener Elementarstoffe, je nach ihrem Valenzwerthe, entweder einem, oder zweien, dreien oder vier Atomen Wasserstoff äquivalent sind, so können wir Faraday's Gesetz so aussprechen, dass dieselbe Menge Elektricität, wenn sie durch irgend einen Elektrolyten fliesst, immer dieselbe Menge von Valenzwerthen an beiden Elektroden entweder frei macht, oder in andere Verbindungen überführt.

So scheidet z. B. derselbe Strom 2H aus, oder 2K, oder 2Na, oder ein Ba, Ca oder Zn. Derselbe würde ein Cu aus Cuprisalzen, dagegen [Cu + Cu] aus Cuprosalzen scheiden.

Die einfachen oder zusammengesetzten Salzbildner, die sich an der anderen Elektrode ausscheiden, sind natürlich der Menge des basischen Elements äquivalent, mit welchem sie vorher verbunden waren.

Nach den oben erwähnten theoretischen Ansichten von Berzelius hätten die Quanta entgegengesetzter Elektricitäten, die sich an der Verbindungsstelle zweier Atome anhäufen, mit der Stärke ihrer Verwandtschaft wachsen sollen. Faraday's Versuch zeigte, dass das Gegentheil der Fall war, wenigstens für diejenigen Mengen von Elektricität, die bei der elektrolytischen Zersetzung zum Vorschein kommen. Deren Betrag zeigte sich als gänzlich unabhängig von der Stärke der Verwandtschaft. Es war dies ein verhängnissvoller Schlag für die Theorie von Berzelius.

Seit jener Zeit haben unsere Versuchsmethoden und unsere Kenntnisse über die Gesetze der elektrischen Vorgänge gewaltige Fortschritte gemacht, und eine grosse Anzahl von Hindernissen ist entfernt, welche sich bei jedem Schritt vor Faraday's Füsse legten, und ihn ausserdem zwangen, fortdauernd gegen verwirrte Vorstellungen und unbegründete Theorien einzelner seiner Zeitgenossen zu kämpfen. Das ursprüngliche Voltameter Faraday's, womit er die Menge der bei der Wasserzersetzung entwickelten Gase maass, um dadurch die Intensität des galvanischen Stromes zu messen, ist durch das viel genauere Silber-Voltameter von Poggendorff ersetzt worden, in welchem Silber aus einer Lösung seines salpetersauren Oxyds auf ein Platinstreifchen niedergeschlagen wird, wobei eine sehr genaue Wägung der abgeschiedenen Menge möglich wird. Wir haben jetzt Galvanometer, die

nicht bloss das Vorhandensein eines galvanischen Stromes anzeigen, sondern auch seine Intensität, mag sie gross oder klein sein, sehr genau durch die Grösse der elektromagnetischen Wirkung mittelst einer in wenig Secunden ausführbaren Beobachtung zu messen gestatten. Wir haben Elektrometer, wie das Quadrant-Elektrometer von Sir William Thomson, mit dem man ein Hunderttheil von der Spannungsdifferenz einer Daniell'schen Zelle messen kann; und wir können sagen, dass, je mehr die Untersuchungsmethoden verfeinert wurden, desto mehr die Richtigkeit und ausgedehnteste Gültigkeit von Faraday's Gesetz sich bestätigte.

Im Anfange brachten die Anhänger von Volta's Contacttheorie der galvanischen Wirkungen und von Berzelius' elektrochemischer Theorie mancherlei Einwände vor. Diese beruhten zum Theil darauf, dass die Empfindlichkeit der Galvanometer bald weit über diejenigen Grenzen der Feinheit hinausging, bis zu denen die chemische Analyse nachfolgen konnte. Dies wurde namentlich durch die Einführung von Nobili's astatischem Nadelpaar, von Schweigger's Multiplicator mit einer grossen Anzahl von Windungen eines sehr langen Kupferdrahtes und von Poggendorff's Ablesungsmethode der Bewegungen des Magneten mittelst eines an ihm befestigten Spiegelchens erreicht. Mit unseren neuesten Galvanometern kann man noch ganz sicher und ohne Schwierigkeit Ströme beobachten, die ein oder anderthalb Jahrhunderte dauern müssten, um auch nur ein Milligramm Wasser zu zersetzen, die kleinste Menge, welche man bei chemischen Arbeiten noch abzuwägen pflegt. Wenn solch ein Strom nur einige Secunden oder Minuten gedauert hat, so ist natürlich nicht die entfernteste Aussicht da, seine chemischen Erzeugnisse nachweisen zu können. Und selbst, wenn er viel länger dauern sollte, kann die winzige Menge Wasserstoff, die er zur negativen Elektrode geführt hat, wieder verschwinden, weil einige Spuren atmosphärischen Sauerstoffs in der Flüssigkeit aufgelöst sind. Unter solchen Umständen kann ein schwacher, aber am Galvanometer noch deutlich wahrnehmbarer Strom unbestimmt lange Zeit hindurch fliessen, ohne eine sichtbare Spur chemischer Zersetzung hervorzubringen. Ja selbst die galvanische Polarisation, welche sonst jede vorausgegangene Zersetzung zu verrathen pflegt, kann fehlen. Galvanische Polarisation nennt man bekanntlich einen veränderten Zustand der Metallplatten, welcher zurückbleibt, nachdem dieselben als Elektroden bei der Zersetzung eines

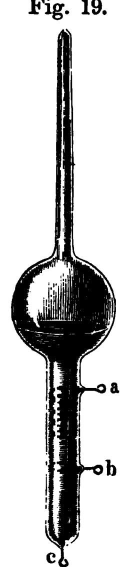
Elektrolyten gebraucht worden sind; dadurch sind dieselben nunmehr fähig geworden, selbständig einen Strom zu erregen, auch wenn sie, vor ihrem Gebrauche als Elektroden in die Flüssigkeit getaucht, sich als vollkommen gleichartig und galvanisch unthätig erwiesen. Die Ursache dieses Zustandes ist wahrscheinlich darin zu suchen, dass elektrisch geladene Molekeln des Elektrolyten durch den Strom zu den metallischen Elektrodenflächen hingeführt worden sind, und von diesen, die selbst wieder mit entgegengesetzter Elektricität geladen sind, durch elektrostatische Anziehung festgehalten werden. Dass wirklich chemische Bestandtheile des Elektrolyten an der Erzeugung galvanischer Polarisation mitbetheiligt sind, kann nicht wohl bezweifelt werden, da dieser Zustand auch durch rein chemische Mittel hervorgebracht und zerstört werden kann. So wird die durch elektrolytisch herangeführten Wasserstoff erzeugte Polarisation durch Einwirkung des atmosphärischen Sauerstoffs wieder zerstört. Verbindet man die polarisirten Platten, während sie in der Flüssigkeit stehen bleiben, ohne Batterie mittelst eines Galvanometers, so geben sie, wie schon gesagt, einen Strom, der durch die Flüssigkeit in entgegengesetzter Richtung geht, als der polarisirende Strom hindurchging, und die Polarisation wieder aufhebt, weshalb er als der depolarisirende Strom bezeichnet werden kann.

Dieser depolarisirende Strom ist nun in der That ein ausserordentlich feines Mittel, um die Spuren vorausgegangener Zersetzung zu entdecken. Aber selbst dies kann fehlschlagen, wenn die entstehende Polarisation durch die Zwischenkunft einer anderen chemischen Einwirkung zerstört wird, zum Beispiel durch aufgelösten, atmosphärischen Sauerstoff. Um dies zu vermeiden, muss man feinere Versuche dieser Art in hermetisch verschlossenen Gefässen anstellen, aus denen alle Luft sorgfältig ausgetrieben ist.

Es ist mir neuerdings gelungen, dies in viel vollständigerer Weise als bisher mit Hülfe des in Fig. 19 abgebildeten und vollständig zugeschmolzenen Glasgefässes zu erreichen. Dasselbe enthält Wasser, säuerlich gemacht durch Schwefelsäure. Zwei Platindrähte *b* und *c*, welche in der Flüssigkeit frei enden, und ein dritter Platindraht, der im Innern des Gefässes mit einer Spirale aus Palladiumdraht verbunden ist, können als Elektroden gebraucht werden. Ehe die Röhre durch Zuschmelzen des oberen Endes verschlossen wurde, war sie mit einer Wasserluftpumpe

verbunden und gleichzeitig wurde durch zwei Grove'sche Elemente Sauerstoff an den beiden Elektroden *a* und *b* entwickelt, während der entsprechende Wasserstoff vom Palladium occludirt wurde. In dieser Weise wurde die Flüssigkeit unter niederem Druck mit elektrolytischem Sauerstoff ausgewaschen und von allen anderen Gasen gereinigt. Nachdem dann die Röhre unter Fortdauer dieses Vorganges zugeschmolzen war, verbanden sich die darin enthaltenen kleinen Mengen von Sauerstoff langsam mit dem Wasserstoff des Palladiums wieder zu Wasser. Spuren von Wasserstoff, die etwa noch in den Drähten *b* und *c* enthalten sind, können durch eine schwach elektromotorische Kraft, die man Tage lang zwischen *b* und *c* einerseits und *a* andererseits wirken lässt, allmählich in das Palladium hinübergetrieben werden. Ja selbst frische Mengen der elektrolytischen Gase, die man nach dem Zuschmelzen der Röhre etwa noch entwickelt haben sollte, können wieder durch längere Einwirkung eines Daniell'schen Elements beseitigt werden, welches Wasserstoff gegen das Palladium führt, wo es occludirt wird, und Sauerstoff zu den Drähten *b* und *c*, wo sich dieser mit Wasserstoff verbindet, so lange noch Spuren dieses Gases in der Flüssigkeit aufgelöst sind. Der Rest von gelöstem Sauerstoff verbindet sich schliesslich am Palladium mit dem occludirten Wasserstoff.

Fig. 19.



Ich habe mich überzeugt, dass man mit einem solchen Apparate die Polarisation beobachten kann, die in wenigen Secunden durch einen Strom erzeugt wird, der ein Jahrhundert brauchen würde, um ein Milligramm Wasser zu zersetzen.

Aber selbst wenn das Auftreten der Polarisation von den Gegnern der strengen Gültigkeit des elektrolytischen Gesetzes nicht als ein hinreichender Beweis vorhergegangener Zersetzung anerkannt werden sollte, so ist es gegenwärtig nicht schwer, die Angaben eines guten Galvanometers auf absolutes Maass zu reduciren und den Betrag der Zersetzung zu berechnen, der nach Faraday's Gesetz zu erwarten ist, und schliesslich sich zu überzeugen, dass in allen den Fällen, wo keine Producte der Elektrolyse entdeckt werden können, deren Betrag in der That für die Hülfsmittel unserer chemischen Analyse zu klein war.

Fortführung der Ionen. Producte der Zersetzung können an den Elektroden nicht erscheinen, ohne dass Bewegungen der den Elektrolyten zusammensetzenden chemischen Elemente in der ganzen Länge der durch die Flüssigkeit führenden Strombahn eingetreten sind. Ueber diesen Punkt war die Mehrzahl von Faraday's Vorgängern schon einig, aber über die Art dieser Bewegung machten sie sich sehr verschiedene Vorstellungen. Faraday erkannte sogleich die Wichtigkeit dieser Frage und wandte sich wieder zum Versuch. Er füllte zwei Zellen mit derselben elektrolytischen Flüssigkeit und stellte zwischen beiden eine leitende Verbindung her durch einen mit eben derselben Flüssigkeit getränkten Docht aus Asbest, so dass er, gesondert von einander, die Quantität aller zu dem einen oder andern Ende der Leitung fortgeführten Bestandtheile der Flüssigkeit bestimmen konnte. Um die Richtung der Bewegung bestimmt zu bezeichnen, hat er bekanntlich eine sehr zweckmässige Terminologie eingeführt. Er bezeichnete die vom Strome fortgeführten Atome oder Atomgruppen mit dem griechischen Worte „Ion", d. h. das Wandernde, und indem er den Strom positiver Elektricität mit einem von den Bergen kommenden Wasserstrom verglich, fasste er unter dem Namen „Kation" (das Hinabwandernde) diejenigen Bestandtheile zusammen, die mit der positiven Elektricität sich bewegen, unter dem Namen „Anion" (das Hinaufwandernde) dagegen, die mit der negativen Elektricität fortgehen. Das Kation wandert zur Kathode, d. h. zu derjenigen Elektrode, zu der die $+E$ der Flüssigkeit hinströmt, und das Anion zur Anode, von welcher dieselbe Elektricität in die Flüssigkeit einströmt. Die Kationen sind in der Regel in der chemischen Verbindung des Elektrolyten durch Wasserstoff ersetzbar, die Anionen sind einfache oder zusammengesetzte Halogene.

Diese Vorgänge sind namentlich durch Professor Hittorff zu Münster und Professor Gustav Wiedemann zu Leipzig eingehend und für eine grosse Anzahl elektrolytischer Prozesse untersucht worden. Sie fanden, dass gewöhnlich Anion und Kation mit verschiedener Geschwindigkeit durch die Flüssigkeit fortgeführt werden. Neuerdings hat für dieses Gebiet Professor Kohlrausch in Würzburg ein Gesetz von hervorragender Wichtigkeit entdeckt und nachgewiesen, dass nämlich in hinreichend verdünnten Lösungen von Salzen, einschliesslich der Hydrate von Säuren und kaustischen Alkalien, jedes Ion unter dem Einflusse gleichen Potentialgefälles, d. h. getrieben von gleich grosser elektrischer

Kraft, sich mit einer ihm eigenthümlich zukommenden Geschwindigkeit fortbewegt, unabhängig davon, ob gleichzeitig andere Ionen sich in derselben oder in entgegengesetzter Richtung durch die Flüssigkeit fortbewegen.

Unter den Kationen hat Wasserstoff die grösste Geschwindigkeit der elektrolytischen Fortbewegung; dann folgen der Reihe nach Kalium, Ammonium, Silber, Natrium, ferner die zweiwerthigen Atome des Barium, Kupfer, Strontium, Calcium, Magnesium, Zink; den letzteren nahe steht das einwerthige Lithium. Unter den Anionen ist Hydroxyl (OH) das erste, dann folgen die anderen einwerthigen Atome, Jod, Brom, Cyan, Chlor, die zusammengesetzten Halogene NO_3, ClO_3, die zweiwerthigen Halogene der Schwefelsäure und Kohlensäure, endlich Fluor und das Halogen der Essigsäure. Die einzige Ausnahme von der oben angegebenen Regel besteht darin, dass die Ionen, die an ein zweiwerthiges Ion entgegengesetzter Art gekettet sind, sich theilweise in der Flüssigkeit langsamer fortbewegen, als die, welche mit einem oder zwei einwerthigen verbunden sind. Die Erklärung hiervon könnte darin liegen, dass zum Beispiel bei der Elektrolyse der Schwefelsäure die Mehrzahl ihrer Atome SO_4H_2 in SO_4 und H_2 zerfallen, einige aber auch in SO_4H und H. Im letzteren Falle würden einige Wasserstoffatome mit dem Anion SO_4H rückwärts gehen und dadurch die mittlere Geschwindigkeit des zur Kathode wandernden Wasserstoffs vermindert erscheinen.

Wenn beide Ionen sich fortbewegen, so werden wir an jeder Elektrode als ausgeschieden vorfinden 1. denjenigen Theil des hier ausscheidenden Ion, der durch die Elektrolyse herangeführt ist, 2. einen zweiten Theil, der durch Fortführung des entgegengesetzten Ion isolirt worden ist. Der Gesammtbetrag der chemischen Bewegung in jedem Querschnitt der Flüssigkeit ist demzufolge gegeben durch die Summe der Aequivalente des Kation, die stromabwärts, und derjenigen des Anion, die stromaufwärts hindurchgegangen sind, gerade so, wie in der dualistischen Theorie der Elektricität die gesammte durch einen Querschnitt des Leiters fliessende Elektricität berechnet werden muss als die Summe der positiven Elektricität, die vorwärts, und der negativen, die rückwärts hindurchfliesst.

Wir können nunmehr Faraday's Gesetz so aussprechen, dass durch jeden Querschnitt eines elektrischen Leiters wir immer äquivalente elektrische und chemische Bewegung haben. Genau dieselbe bestimmte Menge, sei es positiver, sei es negativer

Elektricität, bewegt sich mit jedem einwerthigen Ion, oder mit jedem Valenzwerth eines mehrwerthigen Ion, und begleitet es unzertrennlich bei allen Bewegungen, die dasselbe durch die Flüssigkeit macht. Diese Quantität können wir die elektrische Ladung des Ion nennen.

Ich bitte zu bemerken, dass wir bisher nur von beobachtbaren Erscheinungen gesprochen haben. Die Bewegung der Elektricität kann für den ganzen Querschnitt jedes Leiters gemessen und sogar für jedes verschwindend kleine Flächenelement im Innern des Leiters durch wohlbegründete theoretische Betrachtungen bestimmt werden. Dasselbe gilt für die Fortführung der chemischen Bestandtheile des Elektrolyten. Die Aequivalente der chemischen Elemente und die der entsprechenden elektrischen Quanta sind Zahlen, die durchaus nur beobachtbare gesetzliche Verhältnisse angeben. Dass die festen Verhältnisszahlen der chemischen Verbindungen auf der Präexistenz unzerstörbarer Atome beruhen, mag hypothetisch erscheinen; zur Zeit kennen wir aber noch keine hinreichend klare und entwickelte andere Theorie, welche die Beobachtungsthatsachen der Chemie so einfach und folgerichtig zu erklären im Stande wäre, wie die atomistische Theorie der neueren Chemie.

Auf die elektrischen Vorgänge übertragen, führt diese Hypothese in Verbindung mit Faraday's Gesetz allerdings auf eine etwas überraschende Folgerung. Wenn wir Atome der chemischen Elemente annehmen, so können wir nicht umhin, weiter zu schliessen, dass auch die Elektricität, positive sowohl wie negative, in bestimmte elementare Quanta getheilt ist, die sich wie Atome der Elektricität verhalten. Jedes Ion muss, so lange es sich in der Flüssigkeit bewegt, mit je einem elektrischen Aequivalent für jeden seiner Valenzwerthe vereinigt bleiben. Nur an den Grenzflächen der Elektroden kann eine Trennung eintreten; wenn dort eine hinreichend grosse elektromotorische Kraft wirkt, dann können die Ionen ihre bisherige Elektricität abgeben und elektrisch neutral werden.

Dasselbe Atom kann in verschiedenen Verbindungen mit elektrischen Aequivalenten von entgegengesetztem Zeichen beladen sein. Schon Faraday hat den Schwefel als eines der Elemente bezeichnet, welches entweder als Anion oder als Kation auftreten kann. Er ist Anion in geschmolzenem Schwefelsilber, Kation vielleicht in concentrirter Schwefelsäure. Später wurde Faraday in letzterem Punkte zweifelhaft, da die Ausscheidung von Schwefel

aus Schwefelsäure vielleicht auf einer secundären Zersetzung beruhen könnte. Das wirkliche Kation könnte Wasserstoff sein, welcher sich mit dem Sauerstoff der Säure vereinigen und den Schwefel aus der Verbindung herausdrängen könnte. Aber selbst, wenn dies der Fall wäre, müsste doch der sich mit Sauerstoff wieder verbindende Wasserstoff in dem neu gebildeten Wasser seine positive Ladung behalten und nur der elektrisch neutral ausscheidende Schwefel würde Aequivalente positiver Elektricität an die Kathode abgeben können. Er muss also in der Verbindung mit Sauerstoff in der That positive Ladung haben. Dieselbe Betrachtung kann auf eine grosse Anzahl anderer Beispiele angewendet werden. Jedes Atom, beziehlich jede Atomgruppe, die bei einer secundären Zersetzung für ein Ion substituirt werden kann, muss fähig sein, die frei werdenden Aequivalente der entsprechenden Elektricität abzugeben.

Wenn die vorher positiv geladenen Atome von Wasserstoff oder irgend einem anderen Kation aus ihrer Verbindung ausscheiden und sich gasförmig entwickeln, so ist das entwickelte Gas elektrisch neutral, d. h. es enthält nach der Ausdrucksweise der dualistischen Theorie gleiche Quanta positiver und negativer Elektricität. Entweder also ist jedes einzelne Atom elektrisch neutral, oder je ein Atom, welches positiv beladen bleibt, verbindet sich mit je einem Atom, welches seine positive Ladung mit einer negativen ausgetauscht hat. Diese letztere Annahme stimmt überein mit der aus Avogadro's Gesetz gezogenen Folgerung, dass die Molekeln des freien Wasserstoffs aus je zwei Atomen zusammengesetzt sind [1]).

Nun entsteht die Frage, ob die eben besprochenen Beziehungen zwischen Elektricität und chemischer Zusammensetzung, die wir aus dem Mechanismus der Elektrolyse hergeleitet haben, nur auf diejenige Klasse von Verbindungen einzuschränken sind, die wir als Elektrolyte kennen, oder nicht. Wenn es sich darum handelt, einen hinreichend starken galvanischen Strom hervorzubringen, so dass man genügende Mengen der elektrolytischen Producte zur Constatirung ihrer chemischen Natur ansammeln kann, ohne doch zu viel Wärme in den Elektrolyten zu erzeugen, so müssen wir uns auf solche Substanzen beschränken, die dem

---

[1]) Molekeln, die aus je einem bivalenten Atome bestehen, wie die des Quecksilberdampfes, würden als beladen mit einem positiven und einem negativen Aequivalent E betrachtet werden können (1883).

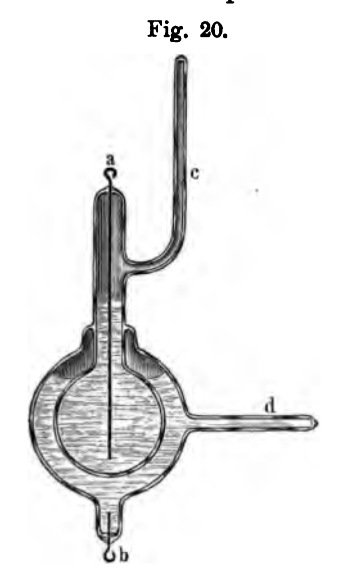
elektrischen Strom keinen zu grossen Leitungswiderstand entgegensetzen. Aber selbst bei dem allergrössten Widerstande, wo die Bewegung der Ionen ausserordentlich langsam wird, und wir vielleicht Hunderte von Jahren brauchen würden, um erkennbare Spuren der Zersetzungsproducte zu sammeln, könnte doch der Vorgang der elektrolytischen Zersetzung mit allen seinen wesentlichen Merkmalen bestehen. In der That finden wir die allergrössten Verschiedenheiten des Leitungsvermögens in verschiedenen Flüssigkeiten. Für eine grosse Zahl derselben, bis zum destillirten Wasser und reinen Alkohol hinab, können wir den Durchgang des Stromes mit einem empfindlichen Galvanometer erkennen. Wenn wir uns aber zum Terpentinöl, Benzin und ähnlichen Substanzen wenden, so bleibt das Galvanometer unbewegt. Dennoch kann man erkennen, dass auch die letzteren Flüssigkeiten ein erkennbares Leitungsvermögen haben. Wenn man einen elektrisirten Conductor mit einer von zwei Elektroden verbindet, die in Terpentinöl stehen, und die andere mit der Erde, so erkennt man deutlich, dass der Leiter durch die Berührung mit dem Oel schneller seine Elektricität verliert, als wenn zwischen den beiden Elektroden nur Luft wäre.

Auch in diesem Falle dürfen wir die zurückbleibende Polarisation der Elektroden als ein Kennzeichen vorausgegangener Elektrolyse betrachten. Wenn man auf zwei homogene Platinelektroden in Terpentinöl eine Batterie von 8 Daniell 24 Stunden wirken lässt, dann die Batterie wegnimmt und die Elektroden mit einem Quadrantelektrometer verbindet, so wird man finden, dass die beiden Platinflächen sich nicht mehr gleich verhalten, sondern Sitz einer elektromotorischen Kraft geworden sind, welche die Nadel des Elektrometers ablenkt. Die Grösse dieser Polarisationskraft ist in einigen Beispielen von Herrn Picker im Berliner physikalischen Universitätslaboratorium bestimmt worden. Er hat z. B. gefunden, dass das Maximum der Polarisation im Alkohol um so kleiner ist, je weniger Wasser er enthält, und dass es im reinsten Alkohol, Aether und Terpentinöl ungefähr 0,3 Daniell, im Benzin aber 0,8 Daniell beträgt.

Ein anderes noch empfindlicheres Kennzeichen elektrolytischer Leitung besteht darin, dass Elektrolyte zwischen zwei verschiedene Metalle als Elektroden gebracht, auch ohne alle Temperaturdifferenzen elektromotorische Kräfte hervorrufen. Dies geschieht niemals bei der Verbindung bloss metallischer Leiter von gleicher Temperatur, überhaupt nicht bei Verbindungen

solcher Leiter, welche die Elektricität leiten, ohne dadurch zersetzt zu werden. Zur Hervorrufung solcher elektromotorischer Kräfte können aber selbst eine grosse Menge fester Verbindungen dienen, obgleich sehr wenige unter ihnen hinreichend gut leiten, um dies am Galvanometer zu erkennen, und auch diese wenigen meist nur bei Temperaturen, die ihrem Schmelzpunkt ziemlich nahe liegen. Ich will nur an Zamboni's Säule erinnern, in der trockene Papierblättchen zwischen dünnsten Metallblättern eingeschaltet sind. Wenn man die Verbindung hinreichend lange bestehen lässt, so bewirken selbst Glas, Harz, Schellack, Paraffin, Schwefel, also die besten Isolatoren, die wir überhaupt kennen, genau dasselbe. Es ist fast unmöglich, die Quadranten eines empfindlichen Elektrometers vor dieser langsam auftretenden Ladung durch die isolirenden Stützen des Apparates zu schützen.

Fig. 20.



In den hier erwähnten Fällen könnte man allenfalls noch den Verdacht hegen, dass an dem isolirenden Körper eine dünne Schicht Feuchtigkeit längs seiner Oberfläche hafte, und dass diese den elektrolytischen Leiter bilde. Ich will Ihnen deshalb hier jene kleine Daniell'sche Zelle (Fig. 20), von Herrn Dr. Giese[1]) construirt, zeigen, in welcher diese Deutung ausgeschlossen ist, und Glas als elektrolytischer Leiter functionirt. Die innere Abtheilung enthält Kupfervitriollösung, in welche ein unten galvanisch verkupferter Platindraht *a* hineinreicht. Der umgebende äussere Hohlraum enthält eine Lösung von Zinkvitriol und etwas Zinkamalgam, in welches letztere ein zweiter eingeschmolzener Platindraht *b* reicht. Die Röhren *c* und *d* haben zur Einfüllung der Flüssigkeiten gedient, und sind nachher zugeschmolzen, so dass beide Flüssigkeiten vollkommen hermetisch verschlossen und durch die innere Glaswand vollkommen von einander getrennt sind. Aussen sind beide Pole ganz symmetrisch gebildet; mit der Luft ist nur eine geschlossene Glasfläche in Berührung, durch

[1]) Wiedemann's Annalen Bd. 9, S. 205.

welche zwei Platindrähte treten. Am Elektrometer geprüft, zeigt der kleine Apparat genau dasselbe Verhalten, wie ein Daniell'sches Element, dessen Leitungswiderstand sehr gross ist; dies würde nicht der Fall sein können, wenn die Scheidewand aus Glas nicht als elektrolytischer Leiter in Betracht käme; denn eine metallische Scheidewand würde die Wirkung einer solchen Zelle durch ihre Polarisation gänzlich aufheben.

Diese Thatsachen zeigen also, dass elektrolytische Leitung durchaus nicht auf Salzlösungen und verdünnte Säuren beschränkt ist. Es wird indessen noch manche mühsame Untersuchung durchgeführt werden müssen, ehe man mit Bestimmtheit angeben kann, wie weit diese Art der Leitung verbreitet ist, und welches die Ionen in den verschiedenen Substanzen sind; darauf kann ich Ihnen heute noch keine positive Antwort geben. Mir kam es hier nur darauf an, Sie daran zu erinnern, dass die Fähigkeit eines Stoffes, durch elektrische Strömung zersetzt zu werden, durchaus nicht nothwendig mit einem kleinen Widerstande gegen den Durchgang der Elektricität verbunden ist. Die Substanzen mit gutem Leitungsvermögen bieten uns allerdings viel bequemere Bedingungen zum Studium dieser Vorgänge; was wir aber aus ihnen lernen, brauchen wir durchaus nicht auf die gewöhnlich gebrauchten elektrolytischen Flüssigkeiten zu beschränken.

Bis hierher haben wir uns nur mit den Bewegungen der wägbaren Massen sowohl, wie der elektrischen Quanta beschäftigt. Jetzt müssen wir auch nach den Kräften fragen, unter deren Einfluss diese Bewegungen zu Stande kommen. Auf den ersten Anblick muss es Jeden verwundern, der die gewaltige Macht der chemischen Kräfte und die grossen Beträge von Wärme und mechanischer Arbeit kennt, welche sie hervorbringen können: wie ausserordentlich klein andererseits die elektrische Anziehung an den Polen einer Batterie von 2 Daniells ist, die nichtsdestoweniger im Stande ist, Wasser zu zersetzen und dabei eine der mächtigsten chemischen Verwandtschaftskräfte zu überwältigen. Bei der Bildung von 1 kg Wasser aus Wasserstoff, der sich verbrennend mit Sauerstoff vereinigt, wird so viel Wärme erzeugt, dass diese, durch eine Dampfmaschine in Arbeit verwandelt, dasselbe Gewicht auf eine Höhe von 1600000 m heben würde. Dagegen müssen wir die allerfeinsten elektromotorischen Apparate anwenden, um zu zeigen, dass ein Goldblättchen oder ein kleines Aluminiumblättchen, welches an einem Coconfaden hängt, durch die elektrische Anziehung der Batterie überhaupt nur in Bewegung

gesetzt wird. Die Lösung dieses Räthsels ergiebt sich aber, wenn wir die Quanta der Elektricität beachten, die mit den Atomen verbunden in Bewegung gesetzt werden.

Wenn wir das Quantum Elektricität, welches durch eine sehr kleine Menge Wasserstoff mitgeführt wird, nach seinen elektrostatischen Wirkungen messen, so ist es riesig gross. Faraday hat dies schon eingesehen und in verschiedener Weise versucht, wenigstens eine annähernde Bestimmung dieser Grösse zu erreichen. Er zeigte, dass selbst die mächtigsten aus Leydener Flaschen zusammengesetzten Batterien, durch ein Voltameter entladen, kaum sichtbare Spuren von Gas geben. Gegenwärtig können wir schon ziemlich bestimmte Zahlen anführen. Das elektro-chemische Aequivalent der elektromagnetischen Einheit des galvanischen Stromes (1 Weber) ist zuerst von Robert Bunsen, neuerdings von mehreren anderen Physikern bestimmt worden. Später wurde dann die sehr schwierige Vergleichung der elektromagnetischen und elektrostatischen Wirkungen derselben Elektricitätsmenge durch Professor Wilhelm Weber ausgeführt. Eine zweite Bestimmung derselben Grösse gab Clerk Maxwell im Auftrage der British Association[1]). Dadurch hat sich ergeben, dass die beiden Elektricitäten, mit denen die Ionen von 1 mg Wasser beladen sind, wenn sie getrennt und auf zwei Kugeln, 1 km von einander entfernt, übertragen wären, eine Anziehungskraft zwischen beiden hervorbringen müssten, die der Schwere von ungefähr 100 000 kg gleich wäre.

Vielleicht noch übersichtlicher wird dies, wenn wir die elektrische Anziehung in diesem Falle mit der Gravitation der ponderablen Träger der Elektricität vergleichen. Da beide Arten von Kräften nach dem gleichen Gesetze bei wachsender Entfernung der anziehenden Massen abnehmen, und beide der Grösse jedes der wirkenden Quanta proportional sind, so kann man die Vergleichung beider Kräfte unabhängig von der Entfernung und Masse machen. Wir finden, dass Wasserstoff und Sauerstoff des Wassers, wenn sie, ohne ihre elektrischen Ladungen zu verlieren, von einander getrennt werden könnten, eine Anziehung auf einander ausüben würden, gleich der Gravitation von Massen, die ihnen 400 000 Billionen Mal an Gewicht überlegen wären.

Bei unseren elektrometrischen Versuchen kommt eben in

---

[1]) Die Data für die folgende Rechnung siehe im Anhang I zu dieser Vorlesung, am Schlusse dieses Bandes.

Betracht, dass die Gesammtkraft, die ein elektrisirter Körper auf einen anderen ausübt, proportional der Elektricitätsmenge sowohl des anziehenden, als auch der des angezogenen Körpers ist.

Obgleich also die Pole einer kleinen, aber zur Wasserzersetzung ausreichenden galvanischen Batterie auf die verhältnissmässig kleinen elektrischen Ladungen, wie wir sie mit unseren Elektrisirmaschinen hervorbringen, nur äusserst mässige Anziehungskräfte ausüben, so sind andererseits die Anziehungen derselben Pole auf die riesigen Ladungen der Atome von einem Milligramm Wasser gross genug, dass sie den mächtigsten chemischen Verwandtschaftskräften den Rang ablaufen können.

Soviel über die Grösse der Kräfte; jetzt wollen wir untersuchen, in welcher Weise die Bewegungen der wägbaren Molekeln durch sie beeinflusst werden. Hier sind zwei ganz verschiedene Fälle zu unterscheiden. Erstlich können wir fragen, welche Kräfte nöthig sind, um die Ionen in Vereinigung mit ihren elektrischen Ladungen durch das Innere der Flüssigkeit fortzutreiben, zweitens, welche Kräfte zur Trennung des Ions von seiner Ladung und seinen bisherigen chemischen Verbindungen gebraucht werden.

Am einfachsten ist der Fall, wo die leitende Flüssigkeit ringsum von isolirenden Wänden begrenzt ist. Dann kann keine Elektricität in sie ein- oder austreten; dennoch kann unter dem vertheilenden Einflusse benachbarter elektrisirter Körper positive Elektricität nach der einen, negative nach der entgegengesetzten Seite der flüssigen Masse getrieben werden. Bei diesem Vorgange, den man „elektrostatische Induction“ nennt, verhalten sich flüssige Leiter ganz wie metallische. Es können sehr erhebliche Quantitäten Elektricität auf diese Weise längs den Oberflächen beider Leiter angesammelt werden, wenn diese Oberflächen an einzelnen Theilen einander sehr nahe kommen. Einen solchen Apparat, wo dies der Fall ist, nennt man einen elektrischen Condensator. Wir können elektrische Condensatoren bauen, in denen eine der Oberflächen von einer Flüssigkeit gebildet wird. Zur Ausführung des Volta'schen Fundamentalversuchs sind solche schon vielfach gebraucht worden. Dass die allerschwächsten elektrischen Kräfte in vollkommen regelmässiger Weise auch in solchen flüssigen Oberflächen elektrische Vertheilung hervorrufen, zeigt namentlich der zur Beobachtung der Luftelektricität von Sir William Thomson eingeführte Tropfapparat. Es kann keine Frage sein, dass selbst elektromotorische

Kräfte, kleiner als $\frac{1}{100}$ Daniell, die vollkommene Gleichgewichtsvertheilung der Elektricität in den ihnen unterworfenen flüssigen Leitern hervorrufen.

Uebrigens geschieht dies nicht nur bei gut leitenden Elektrolyten, sondern auch bei unseren verhältnissmässig besten Isolatoren; nur brauchen letztere längere Zeit. Aber, wie Herr Professor Wüllner gezeigt hat, laden sich auch solche schliesslich ganz so, wie es Metalle an ihrer Stelle augenblicklich gethan haben würden.

Genau derselbe Vorgang tritt unter etwas abgeänderten Bedingungen und in etwas abgeänderter Erscheinungsweise ein, wenn wir die zwei Platinelektroden eines Voltameters mit nur einem Daniell'schen Element verbinden, dessen elektromotorische Kraft für sich zur Wasserzersetzung nicht ausreicht. In diesem Falle geben die Ionen der Flüssigkeit, die zu den Oberflächen der Elektroden geführt werden, ihre elektrischen Ladungen nicht ab. Der ganze Apparat verhält sich, wie zuerst von Sir William Thomson hervorgehoben wurde, wie ein Condensator von ungeheurer Capacität. Es kommt dabei in Betracht, dass die Quantität Elektricität, die an zwei Condensatorflächen unter dem Einflusse einer constant bleibenden elektromotorischen Kraft sich ansammelt, umgekehrt proportional dem Abstande der Platten ist. Wenn wir diesen auf $\frac{1}{100}$ des früheren verkleinern, so nimmt der Condensator hundert Mal so viel Elektricität auf. Die Flächen des Platins aber und der ihm anliegenden Flüssigkeit haben nur noch moleculare Abstände. Wir dürfen also einen ungeheuer grossen Werth für die Capacität eines solchen Condensators erwarten. Gemessen wurde dieselbe durch die Herren Varley, Friedrich Kohlrausch und Colley. Ich selbst überzeugte mich bei dahin gerichteten Versuchen, dass in der Flüssigkeit gelöste Luft den Werth erheblich vergrössern kann. Nachdem ich die letzten Spuren von Luft entfernt hatte, bekam ich einen Werth, etwas kleiner als den von Kohlrausch gefundenen. Vertheilen wir den Gesammtwerth der Polarisation gleichmässig auf beide Platten, so ergiebt sich der Abstand zwischen den beiden Schichten positiver und negativer Elektricität auf den zehnmillionsten Theil (Kohlrausch $^1/_{5000000}$) eines Millimeters. Es ist dies annähernd dieselbe Grösse, welche sich auch in einigen anderen von Sir William Thomson be-

rechneten Fällen für den Wirkungskreis der Molecularkräfte ergeben hat.

Bei der hierdurch bedingten ungeheuren Capacität eines solchen Condensators wird die Menge Elektricität, welche zu seiner Ladung selbst bei schwachen elektromotorischen Kräften nöthig ist, bedeutend genug, um merkliche Zeit zum Einströmen und Ausströmen zu brauchen und durch ein Galvanometer angezeigt werden zu können. Denselben Prozess, den ich hier Ladung des Condensators nenne, habe ich vorher als Entstehung galvanischer Polarisation an der metallischen Elektrode bezeichnet, indem ich dort das Hauptgewicht auf die Bewegung der Ionen, hier auf die der Elektricität legte. Aber beide sind, wie wir wissen, immer untrennbar verbunden.

Wenn man polarisirende und depolarisirende Ströme in einer luftleeren Zelle, wie Fig. 19, beobachtet, findet man sie mit vollkommener Regelmässigkeit selbst bei den schwächsten elektromotorischen Kräften bis zu 0,001 Daniell herab ablaufend, so dass die in den Condensator eintretende Elektricitätsmenge immer der angewendeten elektromotorischen Kraft proportional ist. Ich zweifle nicht, dass, wenn man grössere Platinplatten als Elektroden nimmt, man noch viel weiter wird gehen können. Wenn irgend eine chemische Kraft ausser der gegenseitigen Anziehung der elektrischen Ladungen bestände, die alle die Paare des Anion und Kation zusammenhielte und deren Ueberwindung irgend einen kleinen Aufwand von Arbeit erforderte, so müsste sich eine untere Grenze finden lassen für die elektromotorischen Kräfte, welche Polarisationsströme hervorbringen können. Bisher ist noch keine Erscheinung beobachtet worden, welche die Existenz einer solchen Grenze anzeigte und wir müssen deshalb schliessen, dass keine andere Kraft der Loslösung der Ionen von einander widersteht, als allein die Anziehung ihrer elektrischen Ladungen. Diese letzteren können allerdings verhindern, dass sich Atome derselben Art, welche einander abstossen, an der einen Stelle und entgegengesetzt geladene Atome, welche jene anziehen und von ihnen angezogen werden würden, an einer andern Stelle sammeln können, so lange keine äussere Anziehungskraft einer solchen ungleichmässigen Vertheilung zu Hülfe kommt. Die elektrischen Kräfte werden in der That eine gleichmässige Vertheilung der entgegengesetzten Ionen durch die ganze Flüssigkeit zu unterhalten im Stande sein, so dass alle Theile derselben ebenso gut elektrisch, wie chemisch neutralisirt sind. Dagegen

reichen dann die geringsten äusseren elektrischen Kräfte hin, die Gleichmässigkeit dieser Vertheilung zu stören.

Ganz im Gegentheil finden wir, dass bei der Trennung eines Ion von seiner elektrischen Ladung die elektrischen Kräfte der Batterie einem mächtigen Widerstand begegnen, dessen Ueberwindung einer höchst bedeutenden Arbeitsleistung entspricht. Der einfachste Fall ist der, wo die Ionen, indem sie ihre elektrischen Ladungen verlieren, auch gleichzeitig aus der Flüssigkeit scheiden, sei es als Gase, oder in Form fester metallischer Schichten, die sich, wie z. B. galvanoplastisches Kupfer, an die Elektrode anlegen. Nun ist bekannt, dass die chemische Verbindung zweier Elementarstoffe, welche grosse Verwandtschaft zu einander haben, immer grosse Wärmemengen erzeugt, was einer grossen mechanischen Arbeitsleistung äquivalent ist. Im Gegentheil erfordert die Zersetzung der entstandenen chemischen Verbindung nun ihrerseits wieder einen entsprechenden Aufwand arbeitsfähiger Kräfte, weil dabei die Energie der bei Schliessung der Verbindung verloren gegangenen chemischen Arbeitskräfte wieder hergestellt wird. Sauerstoff und Wasserstoff, von einander getrennt, enthalten einen Vorrath von Energie; denn lassen wir sie mit einander zu Wasser verbrennen, so entwickeln sie eine grosse Wärmemenge. Im Wasser sind die beiden Elemente enthalten und ihre chemische Anziehungskraft besteht fort, indem sie sie fest vereinigt hält; aber dieselbe kann nunmehr keine Veränderung, keine positive Action mehr hervorbringen. Wir müssen die vereinigten Elemente in ihren ersten Zustand zurückführen, wir müssen sie von einander trennen und dazu eine Kraft anwenden, die ihrer Verwandtschaft überlegen ist, ehe wir ihnen die Fähigkeit wiedergeben, ihre erste Action zu erneuern. Die Wärmemenge, welche durch die chemische Verbindung hervorgebracht wird, ist wenigstens angenähert das Aequivalent der Arbeitsleistung der chemischen Kräfte, die in Wirksamkeit versetzt worden sind[1]). Derselbe Betrag von Arbeit muss andererseits aufgewendet werden, um die Verbindung zu trennen und die beiden Gase in den unverbundenen Zustand zurückzuführen. Ich habe die Grösse dieser Arbeitsleistung schon oben als ein gehobenes Gewicht berechnet.

---

[1]) Einschränkungen und nähere Bestimmungen dieses Satzes in meinen neueren Aufsätzen über Thermodynamik chemischer Vorgänge. Berliner Sitzungsber. 2. Febr. und 27. Juli 1882.

Metalle, die sich mit Sauerstoff oder Halogenen vereinigen, bringen ebenfalls Wärme hervor; einige unter ihnen, wie Kalium, Natrium, Zink, erzeugen sogar mehr Wärme als eine äquivalente Menge Wasserstoff; die weniger leicht oxydirbaren Metalle, wie Kupfer, Silber, Platina dagegen weniger als eine solche. Wir finden dem entsprechend, dass Wärme entwickelt wird, wenn Zink das Kupfer aus seiner Verbindung mit dem zusammengesetzten Halogen der Schwefelsäure austreibt. Das ist der chemische Vorgang, der in den Daniell'schen Zellen vorgeht, und dieser Vorgang ist eben deshalb fähig, Wärme oder andere Arbeitsformen zu erzeugen.

Wenn wir nun durch solch ein Element einen Strom erregen und durch irgend einen Leiter, sei er metallisch oder elektrolytisch, gehen lassen, so entwickelt er in diesem Wärme. Es war zuerst Dr. Joule, welcher durch Versuche nachwies, dass, wenn keine andere Arbeit durch den Strom geleistet wird, die gesammte in einem galvanischen Strome entwickelte Wärme genau der Wärmemenge gleich ist, welche durch die gleichzeitig vorgegangenen chemischen Umsetzungen in der Batterie auch ohne den Strom erzeugt worden wäre. Aber diese Wärme wird nicht an der Oberfläche der Elektroden entwickelt, da, wo die chemischen Prozesse vor sich gehen, sondern sie wird in allen Theilen des Stromkreises, und zwar proportional dem galvanischen Widerstande jedes einzelnen Theiles entwickelt. Daraus ergiebt sich, dass die entwickelte Wärme nicht unmittelbar durch den chemischen Prozess, sondern durch die elektrische Bewegung entwickelt wird und dass die chemische Arbeitskraft der Batterie zunächst dazu verwendet worden ist, die elektrische Bewegung in Gang zu setzen.

Um einen elektrischen Strom durch irgend einen Leiter dauernd zu unterhalten, ist in der That Verwendung eines bestimmten Betrages von Arbeit, sei es chemischer, sei es mechanischer, nöthig. Es müssen fortdauernd neue Vorräthe positiver Elektricität in das positive Ende des Leiters gegen die abstossende Kraft der dort angesammelten positiven Elektricität eingetrieben werden, negative Elektricität ebenso in das negative Ende.

Dies kann unter Anderem auch durch rein mechanische Kräfte gethan werden, z. B. mit einer gewöhnlichen Elektrisirmaschine, welche durch Reibung wirkt, oder mit einer Holtz'schen Maschine, welche durch elektrostatische Induction wirkt, oder auch mit einer magnetelektrischen, welche elektrodynamisch

inducirte Ströme liefert. Wenn in den gewöhnlichen galvanischen Batterien chemische Kräfte dieselbe Arbeit verrichten, so bleibt der Betrag der durch sie zu leistenden Arbeit für gleiche Leistung doch immer derselbe.

Die Grösse dieser Arbeit ist, passende Maasseinheiten vorausgesetzt, gleich dem Product aus der durchgeflossenen Elektricitätsmenge und aus der Potentialdifferenz an den Enden der Leitung welche letztere wieder mit der elektromotorischen Kraft der Batterie zusammenfällt. Da nun nach Faraday's Gesetz die Menge der chemischen Zersetzungsproducte der Elektricitätsmenge proportional ist, so muss die elektromotorische Kraft der Batterie der Arbeit[1]) proportional sein, welche durch die vorgegangenen Umsetzungen von je einem Aequivalent der betreffenden Stoffe gewonnen werden kann. Während in den Zellen einer galvanischen Batterie, die den Strom erregt, chemische Prozesse vor sich gehen müssen, welche Arbeit zu leisten im Stande sind, wird im Gegentheil in solchen Zellen, in denen bestehende chemische Verbindungen zerlegt werden, ein Theil der Arbeitskraft des Stromes verbraucht werden, um die entgegenstehenden chemischen Kräfte zu überwinden. Der Rest dieser Arbeitskraft erscheint als Wärme wieder, die gegen den Widerstand der Leitung entwickelt wird, oder er wird unter Umständen auch verbraucht, um Magnete in Bewegung zu setzen, beziehlich andere Arten von Arbeit zu leisten.

Dabei kommen nicht bloss die grossen Verwandtschaftskräfte der sich in festen Verhältnissen vereinigenden und trennenden Elemente in Betracht, sondern auch die kleineren molecularen Anziehungskräfte, welche das Wasser und andere Bestandtheile der Lösung auf deren Ionen ausüben; selbst Einflüsse dieser Art, welche zu schwach sind, um durch die calorimetrischen Methoden gefunden zu werden, können durch Messung der elektromotorischen Kräfte gemessen werden. Mir selbst ist es gelungen, aus der mechanischen Wärmetheorie den Einfluss zu berechnen, welchen die in einer Salzlösung enthaltene Wassermenge auf die elektromotorische Kraft hat. Die chemische Anziehung zwischen Salz und Wasser kann in diesem Falle durch die Verminderung der Dampfspannung über der Flüssigkeit gemessen werden; die theoretischen Folgerungen sind für diesen Vorgang in sehr be-

---

[1]) Hier war im Original noch die entwickelte Wärme als volles Aequivalent der Arbeit betrachtet. S. die oben S. 281 citirten Aufsätze.

friedigender Weise durch die Versuche von Herrn James Moser bestätigt worden[1]).

Bis hierher haben wir die Voraussetzung festgehalten, dass das Ion sich gleichzeitig mit seiner elektrischen Ladung von der Flüssigkeit trenne. Aber das Ion kann auch, nachdem es seine Elektricität an die Elektrode abgegeben hat, in der Flüssigkeit bleiben, und zwar nun in neutral elektrischem Zustande. Dies bringt kaum einen Unterschied in der elektromotorischen Kraft hervor. Wenn zum Beispiel an der Anode Chlor aus einer Verbindung ausscheidet, wird es zunächst in der Flüssigkeit aufgelöst bleiben; wenn die Lösung aber sich zu sättigen beginnt, oder wenn wir über der Flüssigkeit ein Vacuum machen, so wird sich das Gas in Blasen entwickeln. Die elektromotorische Kraft wird durch die beginnende Gasentwickelung nicht wesentlich verändert, so lange der Sättigungszustand der Flüssigkeit sich nicht ändert. Dasselbe gilt für alle anderen Gase, wenn sie sich auch nicht alle in derselben Menge wie Chlor auflösen können. Sie sehen an diesem Beispiele, dass die Verwandlung des negativ geladenen Chlors in elektrisch neutrales und nunmehr freies Chlor derjenige Prozess ist, der einen so grossen Aufwand von Arbeit fordert, selbst wenn die wägbare Masse seiner Atome nach wie vor in der Flüssigkeit bleibt.

Im Gegentheil, wenn die elektrische Ladung der Elektroden nicht stark genug ist, um den Ionen, die sich längs deren Oberfläche sammeln, ihre Elektricität zu entziehen, so wird das Kation an der Kathode und das Anion an der Anode festgehalten mit einer Kraft, die durch das Ausdehnungsbestreben der Gase nicht überwunden werden kann. Auch wenn man die Luft über der Flüssigkeit vollständig wegnimmt, giebt eine mit Wasserstoff polarisirte Kathode oder eine mit Sauerstoff polarisirte Anode nicht das kleinste Gasbläschen her. Erst wenn man die Potentialdifferenz der Elektroden so weit steigert, dass sie die elektrischen Ladungen der Ionen hinreichend kräftig anziehen, um sie zu sich hinüber zu reissen, werden die Ionen selbst frei, um anderen mechanischen Kräften zu folgen und die Elektrode zu verlassen, beziehlich sich als Gase zu entwickeln. Daraus folgt also, dass es nicht ihr wägbarer Theil ist, der von der Elektrode angezogen wird; dann müssten sie auch nach ihrer Entladung noch festhaften. Wir müssen vielmehr schliessen, dass sie nur, weil und

---

[1]) Wiedemann's Annalen. Bd. III. S. 201 bis 216 und 216 bis 219.

so lange sie elektrisch geladen sind, zur entgegengesetzt geladenen Elektrode gezogen werden.

Je mehr die positiv geladene Oberfläche der Anode sich mit negativ geladenen Atomen des Anion deckt, und die der Kathode mit positiven des Kation, desto mehr vermindert sich die Anziehung, welche beide auf die im Innern der Flüssigkeit liegenden Ionen ausüben. Die Kraft dagegen, mit welcher die positive Elektricität eines Wasserstoffatoms der Grenzschicht gegen die Oberfläche des Metalls hingezogen wird, wächst in dem Maasse, als mehr negative Elektricität sich vor ihm im Metall, und mehr positive sich hinter ihm in der Wasserstoffschicht der Flüssigkeit condensatorisch ansammelt.

Diese Anziehungskraft, welche in einem geladenen Condensator auf die Einheit des elektrischen Quantums wirkt, das an der Innenseite einer der Ladungsschichten liegt, ist proportional der elektromotorischen Kraft, die den Condensator geladen hat, und umgekehrt proportional dem Abstande der geladenen beiden Grenzflächen. Wenn diese $\frac{1}{100}$ mm von einander entfernt sind, ist die Kraft 100 mal so gross, als wenn sie 1 mm Abstand haben. Steigen wir also zu Moleculardistanzen herab, wie wir sie aus der Capacität der polarisirten Elektroden berechnet haben, so wird die Kraft 10 Millionen Mal grösser, so dass unter diesen Umständen selbst eine mässige elektromotorische Kraft den mächtigen chemischen Kräften den Rang ablaufen kann, die jedes Atom mit seiner elektrischen Ladung verbinden und die Atome in der Flüssigkeit festhalten.

So würde man sich die Mechanik der Vorgänge zu denken haben, durch welche die elektrische Kraft an der Oberfläche der Elektroden entwickelt und allmählich so verstärkt wird, dass sie die mächtigsten chemischen Verwandtschaften, die wir kennen, überwinden kann. Wenn dies durch eine polarisirte Fläche geschehen kann, die nur die Rolle eines durch eine mässige elektromotorische Kraft geladenen Condensators spielt, können die ungeheuren elektrischen Ladungen von Anion und Kation dann wohl noch für einen unerheblichen und unwesentlichen Theil der chemischen Verwandtschaftskraft gehalten werden?

In einer Zersetzungszelle, wie wir sie zuletzt als Beispiel brauchten, widerstehen die Ionen äusseren Anziehungskräften, die sie von ihren elektrischen Ladungen zu trennen suchen. Kehren wir die Richtung des Stromes um, so gehen auch die elektrolyti-

schen Prozesse in umgekehrter Richtung, und die elektrischen Kräfte der Ionen unterstützen den Strom. In einem Daniell'schen Elemente tritt neutrales Zink in die Lösung, wobei es nur $+E$ mitnimmt, und was es von $-E$ hat, der Metallplatte zurücklässt, beziehlich es gegen $+E$ austauscht. An der Kupferelektrode trennt sich das positiv geladene Kupfer der Lösung und setzt sich neutralisirt als galvanoplastische Schicht ab. Seinen Ueberschuss an positiver E giebt es an die Elektrode ab. Wir haben aber schon gesehen, dass, während dies in einem Daniell'schen Elemente vorgeht, dasselbe nach aussen hin Arbeit leistet. Daraus müssen wir schliessen, dass ein Aequivalent von $+E$, das sich als Ladung mit einem Atom Zink vereinigt, grössere Arbeit leisten kann, als wenn es an ein Atom Kupfer tritt.

Wenn wir dies wieder in der Sprache der dualistischen Theorie ausdrücken und positive und negative Elektricität als zwei imponderable Substanzen behandeln wollen, so sind die besprochenen Vorgänge von solcher Art, als würden die Aequivalente von $+E$ und $-E$ mit verschiedener Kraft von verschiedenen Atomen (vielleicht auch von den verschiedenen Verbindungsstellen eines einzelnen multivalenten Atoms) angezogen. Kalium, Natrium, Zink müssen starke Anziehung für $+E$ haben, Sauerstoff, Chlor, Brom, Jod dagegen für $-E$.

Beobachten wir nun Wirkungen solcher Anziehung auch in anderen Fällen? Wir stossen hier auf die viel bestrittene Annahme Volta's, dass elektrische Spannungen durch die Berührung je zweier verschiedener Metalle hervorgerufen würden. Ueber die Richtigkeit der von Volta beschriebenen Thatsachen kann kein Zweifel mehr bestehen. Wenn wir zwischen einer Kupferplatte und einer Zinkplatte, die in sehr geringer Entfernung, gut isolirt durch Schellackstäbe getragen, wie Platten eines Condensators einander gegenüberstehen, für einen Augenblick metallische Verbindung herstellen, und sie dann von einander entfernen, so finden wir, dass sich das Kupfer negativ, das Zink positiv geladen hat. Dies ist gerade die Wirkung, welche wir zu erwarten hätten, wenn das Zink zur positiven Elektricität eine grössere Anziehungskraft hat, als das Kupfer, eine Anziehungskraft, die übrigens nicht, wie die von $+E$ auf $-E$ in die Ferne, sondern nur in molecularen Abständen wirkt. Ich habe diese Erklärung von Volta's Versuch schon 1847 in meiner Abhandlung über Erhaltung der Kraft aufgestellt. Alle That-

sachen, welche man bei den verschiedenen Anordnungen rein metallischer Leiter von gleicher Temperatur beobachtet, sind damit in vollkommener Uebereinstimmung; namentlich ergiebt sich Volta's Gesetz der Spannungsreihe sogleich aus dieser Erklärung. Anziehungskräfte, wie die angenommenen, streben nothwendig einem Gleichgewichtszustande zu, und ein solcher tritt auch immer augenblicklich ein, so lange keine anderen Leiter als gleich temperirte Metallstücke mit einander in Berührung treten. Dabei haben wir nie einen dauernden elektrischen Strom. Ganz anders ist der Vorgang, wenn elektrolytische Leiter sich einmischen. Diese zerfallen unter dem Einflusse der elektrischen Bewegung in ihre Bestandtheile; in vielen solchen Fällen kann daher ein ruhender Gleichgewichtszustand erst zu Stande kommen, wenn die elektrolytische Umsetzung vollendet ist. Dieser Punkt ist schon von Faraday besonders hervorgehoben worden, als der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Klassen von Leitern.

Volta's ursprüngliche Theorie war gerade hier unvollständig, weil ihm die elektrolytische Zersetzung noch nicht bekannt war. Seine eigene Auffassung der „Contactkraft“ ist deshalb unleugbar in Widerspruch mit dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft; schon ehe dieses Gesetz klar definirt und als thatsächlich richtig erwiesen war, fühlten viele Chemiker und Physiker, unter ihnen auch Faraday, dass dies nicht die vollständige Erklärung sein könnte. Volta's Gegner strebten chemische Erklärungen auch für diejenigen Versuche zu geben, bei denen ausschliesslich metallische Leiter in Wechselwirkung treten. Sie könnten möglicher Weise durch den Sauerstoff der Luft oxydirt werden, in der That würde die für die schwache elektrische Ladung erforderliche Oxydation so minimale Mengen in Anspruch nehmen, dass es hoffnungslos wäre, sie durch chemische Methoden entdecken oder durch chemische Reinigung der umgebenden Gase, beziehlich Vacua, verhindern zu wollen. Thatsächlich können daher die Annahmen der sogenannten chemischen Theorie nicht widerlegt werden; aber sie giebt kaum mehr, als die unbestimmte Versicherung, dass hier vielleicht ein chemischer Prozess vorkomme, und wo ein solcher vorkommt, Elektricität sich zeigen könne, aber wie viel, welcher Art, bis zu welcher Spannung, alles dies blieb entweder gänzlich unbestimmt, oder es wurden für verschiedene Fälle einander widersprechende Erklärungen angewendet. Namentlich ist es misslich für diese Theorie, dass in denjenigen

Fällen, wo unzweifelhaft chemische Prozesse stattfinden und Elektricität erregen, nämlich bei Metallplatten, die in elektrolytische Flüssigkeiten getaucht sind, gerade die entgegengesetzte Art der Elektrisirung entsteht, als bei Volta's Fundamentalversuch. Dass elektrische und chemische Kräfte im Wesentlichen dieselben sind, nimmt auch die von mir ausgeführte Theorie an. Aber meines Erachtens genügt das Vorhandensein dieser Kräfte, welche bei ungehemmter Wirkung chemische Prozesse zu Stande bringen würden, um die entsprechenden elektrischen Vertheilungen hervorzurufen, auch ehe die chemische Vereinigung eintritt. Dass immer ein fertiger chemischer Prozess vorausgehen oder gar dauernd fortbestehen müsse, wo voltaische Ladungen sich finden, scheint mir eine unnöthige und unbewiesene Annahme zu sein, die ausserdem nichts wirklich erklärt.

Nun sind freilich die elektrischen Ladungen des Zinks und Kupfers bei Volta's Versuch äusserst schwach. Erst durch die höchst empfindlichen neueren Quadrantelektrometer von Sir William Thomson sind sie sicher messbar geworden; warum hier die Wirkung so schwach ist, das ist leicht verständlich. Wenn man zwei ebene und gut polirte Platten von Zink und Kupfer in genaue Berührung bringt, wird die auf beiden Seiten der Grenzfläche angehäufte Elektricitätsmenge wahrscheinlich sehr gross sein. Man kann sie aber nicht wahrnehmen, ehe man die Platten von einander getrennt hat. Die Ladung, welche sie nach der Trennung behalten, wird dann nur derjenigen entsprechen können, welche sie in dem Augenblicke haben, wo der letzte Berührungspunkt zwischen ihnen schwindet. Dann sind alle anderen Theile ihrer Oberfläche schon in Entfernungen von einander, welche unendlich gross im Vergleich mit molecularen Entfernungen sind; und in den Metallen ist die Leistung der Elektricität so gut, dass das der augenblicklichen Lage entsprechende elektrische Gleichgewicht immer als nahehin vollständig hergestellt angesehen werden kann. Wenn diese Entladung der Platten während ihrer beginnenden Trennung vermieden werden soll, muss mindestens eine von ihnen isolirend sein. In diesem Falle erhalten wir in der That eine viel auffallendere Reihe von Erscheinungen, nämlich die der sogenannten Reibungselektricität. Die Reibung ist dabei wahrscheinlich nur das Mittel, um eine sehr enge Berührung zwischen den beiden Körpern hervorzubringen. Wenn deren beide Oberflächen sehr rein und frei von anhängender Luft sind, wie zum Beispiel in einer Geissler'-

schen Vacuumröhre, die einen Quecksilbertropfen enthält, so genügt die leiseste rollende Bewegung der beiden Körper an einander, um die elektrische Ladung zu entwickeln. Hier sind zwei Röhren so stark ausgepumpt, dass nur ganz mächtige elektrische Entladungen noch hindurch gehen und die Röhren leuchtend machen können. Die eine enthält eine kleine Menge Quecksilber, die andere die flüssige Legirung von Kalium und Natrium. In der ersteren ist das Metall sehr stark negativ gegen das Glas. Die Legirung dagegen entspricht dem positiven Ende der Spannungsreihe; doch zeigt sich auch hier das Glas noch positiver als das Motall, nur ist die Ladung viel schwächer als beim Quecksilber.

Faraday ist sehr oft darauf zurückgekommen und hat immer wieder seine Ueberzeugung ausgesprochen, dass die beiden unter dem Namen der chemischen Verwandtschaft und der Elektricität bekannten Naturkräfte durchaus identisch seien. Ich habe mich bemüht, Ihnen heute einen Ueberblick der Thatsachen vorzuführen und so viel, wie möglich, Hypothesen bei Seite zu lassen mit Ausnahme der Atomtheorie der modernen Chemie. Ich meine, die Thatsachen können darüber keinen Zweifel lassen, dass bei weitem die mächtigsten unter den chemischen Kräften elektrischen Ursprungs sind. Die Atome haften an ihren elektrischen Ladungen und die einander entgegengesetzten Ladungen wieder an einander; aber ich möchte nicht die Mitwirkung anderer Molecularkräfte ausschliessen, die unmittelbar von Atom zu Atom wirken. Mehrere unter unseren ersten Chemikern haben neuerdings angefangen, zwei Klassen von Verbindungen zu unterscheiden, nämlich die loseren molecularen Aggregate und die typischen Verbindungen; nur die letzteren sind mit ihren Valenzwerthen an einander geknüpft, nicht aber die ersteren.

Elektrolyte gehören durchaus zu den typischen Verbindungen. Wenn wir vorher aus den Thatsachen folgerten, dass jede Verbindungseinheit mit einem Aequivalent entweder von $+ E$ oder von $- E$ beladen ist, so können sie elektrisch neutrale Verbindungen nur herstellen, wo jede positiv beladene Einheit sich unter dem Einfluss der vorher berechneten gewaltigen Anziehungskraft mit je einer negativ beladenen Einheit verbindet. Sie sehen, daraus folgt dann unmittelbar, dass jede Verwandtschaftseinheit eines Atoms nothwendig mit einer und nur mit einer solchen Einheit eines anderen Atoms verknüpft sein muss. Dies ist in der That die wesentliche Behauptung der Valenztheorie der

modernen Chemie, so weit sie sich auf die sogenannten gesättigten Verbindungen erstreckt. Die aus chemischen Gründen gezogene Folgerung, dass auch einfache Stoffe der Regel nach Molekeln haben, die aus je zwei Atomen zusammengesetzt sind, macht es wahrscheinlich, dass auch in diesen Fällen die elektrische Neutralisation durch die Verbindung von je zwei Atomen erreicht ist, deren jedes mit einem ganzen Aequivalent $+ E$, beziehlich $- E$ geladen ist, nicht durch Neutralisation jeder einzelnen Verbindungseinheit.

Ungesättigte Verbindungen mit einer geraden Anzahl unverbundener Valenzen würden in diese Theorie einzufügen sein durch die Annahme, dass die unverbundenen Einheiten mit gleichen und entgegengesetzten elektrischen Aequivalenten geladen seien. Ungesättigte Verbindungen mit nur einer unverbundenen Einheit, wenn sie nur bei hohen Temperaturen existiren, können angesehen werden als dissociirt durch die Gewalt der Wärmebewegung trotz ihrer elektrischen Anziehungen. Ein Beispiel bleibt allerdings übrig von einer Verbindung, die nach Avogadro's Gesetz selbst bei den niedrigsten Temperaturen als ungesättigt angesehen werden muss, nämlich Stickoxydgas (NO), eine Substanz, die übrigens noch viele andere ganz ungewöhnliche Eigenschaften zeigt, und bei welcher man die Erklärung von der Zukunft erhoffen muss[1]).

Uebrigens möchte ich hier nicht mehr in weitere Einzelheiten eintreten, vielleicht bin ich schon zu weit darin gegangen. Ich würde mich auch nicht so weit gewagt haben, wenn ich mich nicht durch Faraday's Autorität gestützt gefühlt hätte, der durch einen selten fehlenden Instinct für die Wahrheit geleitet worden ist. Ich meinte, das Beste, was ich zu seiner Gedächtnissfeier thun könnte, sei eben die Aufmerksamkeit derjenigen Männer, durch deren Thatkraft und Scharfsinn die Chemie ihre staunenswerthe neue Entwickelung erreicht hat, zurückzulenken auf die grossen Wissensschätze, die noch in den Werken jenes wunderbaren Geistes verborgen liegen. Ich bin nicht so eingehend mit der Chemie bekannt, dass ich mich sicher fühlte, genau die richtige Deutung gefunden zu haben, diejenige Deutung, welche Faraday selbst gegeben haben würde, wenn er mit dem Gesetze der Valenz bekannt gewesen wäre. Ohne dieses Gesetz konnte kaum eine folgerichtige und umfassende elektrochemische Theorie

---

1) Siehe Anhang II zu dieser Vorlesung, am Schlusse dieses Bandes.

gegeben werden; auch versuchte Faraday nicht, eine solche zu geben. Es ist ebenso bezeichnend für einen Mann von hoher Intelligenz, wie er es vermeidet, in seinen theoretischen Anschauungen weiter zu gehen, wo ihm die Thatsachen fehlen, als wie er vorwärts geht, wo er den Weg offen findet. Wir müssen Faraday hier in seiner vorsichtigen Zurückhaltung ebenso bewundern, wenn wir auch jetzt, auf seinen Schultern stehend und gefördert durch die bewundernswerthe Entwickelung der organischen Chemie, vielleicht weiter zu sehen vermögen, als er. Ich werde meine heutige Bemühung als wohlbelohnt ansehen, wenn es mir gelungen ist, das Interesse der Chemiker an dem elektrochemischen Theil ihrer Wissenschaft neu belebt zu haben.

Ueber die elektrischen Maasseinheiten nach den Berathungen des elektrischen Congresses, versammelt zu Paris 1881

Vortrag
gehalten im Elektrotechnischen Verein zu Berlin
1881

Die Elektrotechnik hat sich allmählich so weit entwickelt, dass sie jetzt ungeheure Kapitalien in Anspruch nimmt und eine ausserordentlich rege Industrie repräsentirt. Unter diesen Umständen kann es nicht fehlen, dass Streitfragen, welche dieselbe betreffen, vor die Gerichte kommen und sich die Nothwendigkeit fühlbar macht, streitige Fragen gesetzlich zu ordnen, namentlich Maasseinheiten festzustellen, auf welche man bei solchen Entscheidungen zurückgehen kann. Wenn ein Fabrikant übernimmt, den Draht für eine Leitung zu liefern, so wird es wesentlich darauf ankommen, dass der Widerstand des Drahtes eine gewisse Grenze nicht übersteigt; es kann zur gerichtlichen Entscheidung kommen, ob der Draht den Bedingungen des Contractes entspricht. Ebenso wird ein anderer Fabrikant, der die Anfertigung einer dynamo-elektrischen Maschine übernimmt, sich verpflichten müssen, die Maschine so anzufertigen, dass sie bei einer bestimmten Umlaufsgeschwindigkeit eine bestimmte elektromotorische Kraft hervorbringt; es wird also auf das Maass für die elektromotorische Kraft der Maschine ankommen. In anderen Fällen, z. B. bei der Legung von unterirdischen Kabeln, kommt es auf die elektrostatische Capacität der Kabel, also auf die Dicke ihrer isolirenden Hülle und auf deren elektrostatisches Inductionsvermögen an. Je grösser die Capacität ist, desto langsamer können die Zeichen gegeben werden; es wird auch da verlangt werden müssen, dass die elektrische Capacität eine Grenze habe; eine solche muss festgesetzt werden, auf dass man entscheiden könne, ob die Bedingungen eingehalten worden seien. Alles dieses wäre nicht nöthig, so lange ein Techniker alle Lieferungen allein zu machen hätte; dann könnte man von ihm verlangen, dass die in anderer Weise zu messende Leistung, welche beabsichtigt ist, richtig zu Stande komme, sei es die Menge eines

galvanoplastischen Niederschlages, oder die Schnelligkeit im Telegraphiren, die Stärke des Lichtes u. s. w.

Wenn aber verschiedene Fabrikanten, die nur einzelne Theile liefern, mit einander concurriren, so kann ein jeder nur auf die elektrische Leistung desjenigen Theiles des Apparates verpflichtet werden, welchen er liefert.

Es hat sich namentlich in England und in den englisch sprechenden Ländern herausgestellt, dass eine gesetzliche Ordnung nöthig geworden sei. Dort scheint eine grosse Verschiedenheit der Widerstandsmaasse, welche von verschiedenen Fabrikanten geliefert wurden, eingetreten zu sein. So sind Verlegenheiten für die Gerichte bedingt worden, welche eine Entscheidung treffen und den Verkehr sichern sollen. Wir waren in Deutschland verhältnissmässig in guter Lage, weil wir ein sehr genau ausführbares Maass für den Widerstand hatten, vorgeschlagen von Herrn Dr. Werner Siemens, dessen Fabrik fast die einzige war, welche Widerstandsetalons in grösserer Menge lieferte. Darum ist es bei uns zu dergleichen Schwierigkeiten, wie in England, bisher noch nicht gekommen und hat sich die Nothwendigkeit einer gesetzlichen Regelung viel weniger fühlbar gemacht als dort. Andererseits ist die Wissenschaft nicht unbetheiligt, wenn es sich um Regelung dieser Angelegenheit handelt. Denn die wissenschaftlichen Arbeiten werden ausserordentlich erleichtert, wenn man Instrumente benutzen kann, welche fabrikmässig in grosser Menge gemacht werden. Theils lassen sich dann complicirtere Apparate in grösserer Anzahl von wissenschaftlichen Instituten anschaffen und benutzen, weil der Preis geringer wird; theils werden sie, durch Anfertigung in grosser Zahl für technische Zwecke, viel mehr controlirt, allmählich von ihren Fehlern befreit und verbessert. Damit wächst also die Vortrefflichkeit der Ausführung. So ist die Wissenschaft sehr wesentlich daran mitbetheiligt, wenn einmal für die Technik und für die praktische Rechtsprechung gesetzliche Maasseinheiten festgestellt werden sollten, dass dieselben so hergerichtet werden, wie sie der Wissenschaft möglichst gut dienen. Von den Wirkungen der Elektricität sind hauptsächlich die elektromagnetischen praktisch wichtig geworden und es war daher natürlich, dass auf diese Wirkungen die Maasseinheit begründet wurde. Das Princip, um eine Maasseinheit zu bestimmen, welche stets in genauer Weise wieder gefunden werden kann, war ursprünglich von Gauss in Bezug auf den Magnetismus gegeben und von seinem Mitarbeiter

Wilhelm Weber auf das Gebiet der elektromagnetischen Erscheinungen übertragen worden. Die Basis, auf welche Weber diese Bestimmung gegründet hat, war das Ampère'sche Gesetz für die Wirkung von je zwei kurzen stromleitenden Drahtstücken auf einander. Wenn wir die mechanische Wirkung zweier Stromkreise auf einander berechnen wollen, deren verschiedene Theile sehr verschiedene Entfernung von einander und verschiedene Richtung gegen einander haben, müssen wir jeden Draht in so kleine, kurze Theile getheilt denken, dass deren Länge noch als unbedeutend im Vergleich zu ihrer gegenseitigen Entfernung angesehen werden kann; dann müssen wir die Wirkungen aller Theile des einen Drahtes auf alle Theile des anderen addiren. Nun sagt die Ampère'sche Regel, dass man jeden der beiden in einem Paar solcher Drahtstücke fliessenden Ströme in zwei Componenten zu zerlegen hat, von denen eine in die Richtung ihrer Verbindungslinie fällt (deren Länge ich mit r bezeichnen will), die andere senkrecht dagegen. Dann kann man die Wirkung, welche diese beiden Stücke des Stromes auf einander ausüben, zurückführen auf diejenige, welche jede Componente des einen Stromes auf die parallel gerichtete des anderen ausübt. Das quer zur Verbindungslinie gerichtete Paar wirkt anziehend, wenn beide Ströme gleich gerichtet sind, und die anziehende Kraft ist dann nach Ampère proportional der Stromstärke i des angezogenen Stromes, und der Länge des von ihm durchflossenen Drahtstückes l, ebenso aber auch der Stromstärke j des anziehenden Stromes und seiner Drahtlänge λ, dagegen umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung r. Also wäre die Kraft proportional zu setzen der Grösse:

$$\frac{2\,ij\,.\,l\,.\,\lambda}{r\,.\,r}.$$

Den Factor 2 habe ich hinzugesetzt, um nicht auf die unnöthige Unterscheidung der elektromagnetischen und elektrodynamischen Maasseinheiten eingehen zu müssen, wie sie von W. Weber definirt worden sind.

Wenn nun kein Maass für die Messung der Stromstärke bestimmt und alles noch willkürlich ist, würde man das Maass für die Stromstärke auch so wählen können, dass jener Ausdruck nicht bloss proportional, sondern auch gleich der Grösse der Anziehungskraft k wird. Also:

$$k = 2\,ij\,.\,\frac{l\,.\,\lambda}{r\,.\,r}.$$

Wenn man diese Ausdrücke gleichsetzt, so haben wir dadurch eine bestimmte Einheit für die Messung der beiden Stromstärken, welche hier vorkommen, vorgeschrieben.

Das zweite oben erwähnte Paar von Componenten wirkt genau nach demselben Gesetz, nur ist der Factor 2 wegzulassen und die Kraft gleichgerichteter Ströme ist abstossend.

Wenn Sie nun beachten, dass der Factor $\frac{l \, . \, \lambda}{r \, . \, r}$ im Zähler und im Nenner das Product zweier Längen enthält, also sich auf einen Zahlenfactor reducirt, so sehen Sie, dass die obige Gleichung das Product zweier Stromstärken gleich einer Kraft setzt.

Nun pflegte man ursprünglich eine Kraft zu vergleichen mit der Schwere eines Gewichtes. Dann wäre sie zu setzen gleich der Grösse einer Masse, multiplicirt mit der Intensität der Schwere; denn diese ist an den verschiedenen Theilen der Erde verschieden; sie ist anders an den Polen als am Aequator. Das Gramm ist also nicht überall gleich schwer, und wenn man überall gleiches Maass haben will, muss man das Maass der Masse multipliciren mit der Intensität der Schwere. Diese aber wird gemessen durch die Geschwindigkeit, welche ein frei fallender Körper in der ersten Secunde erlangt.

Eine Geschwindigkeit ist eine Länge, dividirt durch die Zeit, $\frac{l}{t}$. Hier handelt es sich um die Geschwindigkeit, welche in einer gewissen Zeit gewonnen worden ist. Wir müssen sie also noch einmal durch t dividiren, um die Grösse g zu bekommen, und so erhalten wir schliesslich das Resultat, dass ij eine Grösse gleicher Art wie eine Kraft, oder wie $\frac{m \, . \, l}{t \, . \, t}$ sei. Dieses Princip der Messung ist zuerst von Wilhelm Weber durchgeführt worden. Er hat versucht, wirkliche Ströme nach diesem Maasse zu definiren, zunächst mit der Tangentenbussole. In derselben lässt sich, wenn man die Einheit in der genannten Weise festsetzt, ebenso direct ein Ausdruck für die Grösse der magnetischen Kraft finden, welche der Strom hervorbringt. Diese wird gegeben für die Mitte des Kreises einer Tangentenbussole vom Radius r durch $\frac{2\pi \, . \, i}{r}$. Sie sehen also, die magnetische Wirkung von Drahtring und Spirale kann direct berechnet werden, wenn sie von elektrischen Strömen durchströmt wird,

deren Intensität nach dem Gauss-Weber'schen Princip gemessen werden kann. Um aber solche Messungen nach Wilhelm Weber's Vorgang mit der Tangentenbussole auszuführen, muss man die Stärke des Erdmagnetismus am Orte der Beobachtung im absoluten Maasse kennen. Wenn diese gegeben ist, so ist das Verhältniss zwischen der magnetischen Kraft des Stromes und derjenigen der Erde gleich der trigonometrischen Tangente des Winkels, um welche die Magnetnadel abgelenkt ist. Wird dieser Winkel gemessen, so hat man Alles, was nöthig ist, um die Intensität des Stromes in Weber'schem Maasse zu berechnen. Weber selbst hat bei dieser Rechnung, nach dem Vorgang von Gauss, das Milligramm als Einheit der Masse, das Millimeter als Einheit der Länge und die Secunde als Einheit der Zeit gebraucht.

Um Ihnen ungefähr eine Vorstellung von der Grösse des Stromes zu geben, welcher der Weber'schen Einheit entspricht, führe ich an, dass derselbe hervorgebracht wird durch einen Daniell, welcher in einem Kreise von 11,7 Siemens-Einheiten wirkt. Es ist also ein relativ schwacher Strom. Derselbe könnte auch weiter charakterisirt werden durch die Menge von Wasser, die er in einer gegebenen Zeit zersetzt. Solche Beobachtungen sind von verschiedenen Beobachtern gemacht worden, haben aber ziemlich wechselnde Resultate ergeben. Zuerst ist eine solche Bestimmung von Robert Bunsen gemacht worden. Diese ergab, dass ein Strom von der Weber-Einheit in einer Secunde 0,0092705 mg Wasser zersetzte. Der englische Physiker Joule fand bei einer ähnlichen Bestimmung 0,009239. Neuerdings hat Herr Friedrich Kohlrausch, mit Hülfe der Beobachtungsmittel des magnetischen Observatoriums in Göttingen, die Bestimmung sehr sorgfältig wiederholt und gefunden 0,009476. Die Uebereinstimmung ist nicht gerade sehr gut; überhaupt kranken alle diese elektromagnetischen Bestimmungen an der Veränderlichkeit des Erdmagnetismus. Dieser wechselt fortdauernd seine Richtung und Intensität, und durch die Tangentenbussole können wir nur das Verhältniss zwischen der Stromstärke und der Stärke des Erdmagnetismus bestimmen. Dazu kommt, dass nicht jeder Beobachter in einem eisenfrei gebauten magnetischen Observatorium arbeiten kann. In unseren Häusern und Laboratorien liegen überall unter den Fussböden und in den Wänden eiserne Schienen, welche magnetisch werden, so dass an verschiedenen Stellen desselben Hauses, ja selbst in verschiedenen Ecken desselben

Zimmers, der Erdmagnetismus Abweichungen zeigt, die bis zu 10 Proc. steigen können. Die Bestimmung der Menge des zersetzten Wassers erfordert mindestens eine Viertelstunde Zeit, wenn die Zeitdauer des Versuches auch nur auf ein pro Mille genau bestimmt werden soll. Während dieser Zeit muss die Stromstärke möglichst constant gehalten werden, oder ihre kleinen Veränderungen müssen wenigstens fortwährend notirt werden. Auch der Erdmagnetismus ändert fortdauernd seinen Werth. Es ist nicht genug, ihn einmal an dem bestimmten Orte bestimmt zu haben; sondern dieses müsste während der Dauer des Versuches fortdauernd geschehen. Wenn man also nicht die Hülfsmittel eines vollständig eingerichteten magnetischen Observatoriums hat und nicht mehrere Beobachter gleichzeitig anstellen kann, von denen einer am Bifilarmagnetometer die Schwankungen des Erdmagnetismus verfolgt, während der andere die Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom aufschreibt, so kann man zu keiner grossen Genauigkeit gelangen.

Als Namen der so bestimmten Maasse hatten wir in der wissenschaftlichen Sprache zunächst ihre Bezeichnungen durch Gewicht, Länge und Zeit beibehalten in den Combinationen dieser Grössen, welche die Rechnung ergeben hatte. Es wurde also gesagt, dass eine Stromstärke, die man beobachtet hat, gleich ist einer Zahl n; dann kam folgende Einheit

$$i = n \cdot \frac{\sqrt{mg \,.\, mm}}{t},$$

dagegen eine elektromotorische Kraft:

$$a = n \cdot \frac{\sqrt{mg \,.\, mm^3}}{t^2}$$

Es war unverkennbar äusserst unbequem, wenn man viel von solchen zusammengesetzten Einheiten zu reden oder zu schreiben hatte. Die Beobachter liessen daher die Bezeichnung der Einheiten oft aus, nachdem sie sie anfangs in Worten angegeben hatten. Dann musste man die ganzen Bücher absuchen, um zu finden, was gemeint war; ging der Autor im Laufe seiner Abhandlung gar einmal von Milligrammen auf Gramme, oder von Millimetern auf Centimeter über, so war man den unangenehmsten Irrthümern ausgesetzt. Es empfahl sich in der That, wenn man viel von solchen Messungen der Stromstärke, oder der elektromotorischen Kraft, oder des Widerstandes zu reden

hatte, dass man irgend welche neue Namen wählte, welche wohl definirte Einheiten dieser Art bezeichneten. Wie ich aus einander gesetzt habe, in Bezug auf die Messungen der Stromstärke hat man in Deutschland meistentheils nach der Weber'schen Einheit gerechnet, und zwar so, wie sie von ihm zuerst festgesetzt worden war, ausgedrückt durch Millimeter, Milligramm und Secunde.

Die Einheit des Widerstandes bestimmt sich im Gauss-Weber'schen System durch den Umstand, dass die Wärmeentwickelung in einem Drahte von dem Widerstande w in der Zeit t proportional ist dem Product $i.i.w.t$. Die Ursache dieser Wärmeentwickelung ist, dass ein Theil der Arbeitskraft bei der Bewegung der Elektricität, wie bei der Bewegung schwerer Massen, verloren geht durch einen Prozess, welcher der Reibung ähnlich ist. Diese Wärmemenge ist also verlorene Arbeit und als solche zu messen. Wenn der Werth des Widerstandes noch nicht bestimmt ist, lässt er sich nun so bestimmen, dass die Grösse $i.i.w.t$ nicht nur proportional, sondern gleich einer Arbeit wird. Diese aber wird dargestellt durch eine Kraft k, die längs eines bestimmten Weges wirkt, und gemessen durch das Product $k.l$. Wenn wir z. B. Arbeit durch ein gehobenes Gewicht messen, so ist sie gleich dem Product aus der Schwere des Gewichtes und der Hebungshöhe, letztere ist in diesem Falle die Länge des Weges. Sie sehen also, dass wir Arbeit gleich setzen können einer Kraft mal einer Länge. Nun ist im elektromagnetischen System das Product $i.i$ eine Kraft k und wenn also $i.i.w.t$ proportional einer Arbeit, d. h. einem Product kl sein soll, so ergiebt sich, dass $w = \frac{l}{t}$ das Maass des Widerstandes im elektromagnetischen System ist, also eine Geschwindigkeit. Auch die Inductionsströme kann man benutzen, um zu einem Maass des Widerstandes zu kommen. Das Resultat ist das gleiche; denn diese Inductionsströme sind auch verlorene Arbeit für die elektrischen Kraftvorräthe, welche aber hierbei übergeführt ist in mechanische Arbeitskraft. Der Erste, welcher eine Bestimmung des Widerstandes in dieser Weise gegeben hat, war unser Mitglied Professor Gustav Kirchhoff, der schon im Jahre 1849 die ersten Bestimmungen nach dem Gauss-Weber'schen System angestellt hat. Um dieselbe Zeit hat M. H. Jacobi in Petersburg einen willkürlichen Draht anfertigen lassen und ihn als Widerstandseinheit, als den sogenannten Jacobi'schen

Etalon, verbreiten lassen, damit die Physiker sich über die Widerstände verständigen könnten, welche bei ihren Versuchen vorkamen.

Wenn wir nun die Weber'schen Maasseinheiten zu Grunde legen, so zeigt sich, dass eine solche Widerstandseinheit, wie die Siemens'sche, die bequem ist für praktische Zwecke, im Weber'schen Maass ausgedrückt auf die Anzahl von nahehin 10000 Millionen Millimeter, dividirt durch eine Secunde, führt. Wenn man von Widerständen langer Telegraphenleitungen zu sprechen hätte, würde man bei diesen Zahlen mit unübersehbaren Reihen von Nullen zu thun haben. Andererseits zeigt sich, dass man bei der Berechnung der elektromotorischen Kräfte, wie man sie in der Praxis braucht, z. B. der eines Daniell, auf ähnliche riesige Zahlen kommt, wenn auch für die Bestimmungen der Stromstärke die Weber'sche Wahl nicht ungünstig war. Vor einer Reihe von Jahren nahm die *British Association* die Aufgabe in die Hand, eine Wahl von passenden Einheiten zu treffen und passende Namen dafür festzustellen. Es wurde eine Commission ernannt, deren leitende Mitglieder die berühmten Physiker Sir William Thomson und Clerk Maxwell waren. Man entschied sich, die Einheiten aus dem metrischen Systeme zu nehmen, aber andere Vielfache des Meter und Unterabtheilungen des Gramm zu wählen, um die elektrischen Maasse in kleineren Zahlen auszudrücken. In dieser Beziehung hat in der That die *British Association* eine sehr zweckmässige Wahl getroffen. Die französische Commission, welche das metrische System ursprünglich festgesetzt hat, definirte das Meter als den zehnmillionsten Theil des Meridianquadranten, der durch Paris geht. Man beschloss nun, dass für die elektrischen Messungen als Längeneinheit nicht mehr das Millimeter oder Centimeter benutzt werden sollte, sondern die dem genannten Erdquadranten nahe gleiche Länge von zehn Millionen Meter, dieselbe, welche ursprünglich benutzt worden ist, um das metrische System festzustellen. Nimmt man 10000000 m als die Längeneinheit an und dividirt diese durch die Secunde, so giebt das ein Maass des Widerstandes, das dem Siemens'schen ziemlich nahe kommt und von den Engländern mit dem Namen Ohm belegt worden ist. Dazu musste nun eine entsprechend verkleinerte Gewichtseinheit gewählt werden. Um das Verhältniss leicht zu behalten, merke man sich, dass die Längenheit 10^9 cm oder eine Milliarde Centimeter beträgt, und die Gewichtseinheit, welche hier statt des Gramms eintreten sollte, 10^{-9} cg oder 1 cg

dividirt durch eine Milliarde. Nach diesen Feststellungen wird die Siemens'sche Widerstandseinheit nahezu gleich Eins. Die Siemens'sche Widerstandseinheit ist nach den Bestimmungen der *British Association* gleich 0,95302 Ohm, beide stehen also ungefähr im Verhältniss von 21 : 22. Andererseits zeigt sich dann, dass die Einheit der elektromotorischen Kraft, das Volt, nach der englischen Bezeichnung, bestimmt durch die genannten Längen- und Gewichtseinheiten, ungefähr gleich wird der elektromotorischen Kraft eines Daniell'schen Elements, gebaut mit Zinklösung; letztere ist nämlich gleich 1,09 Volt. Die elektromotorische Kraft ergiebt sich, wie schon vorher erwähnt, als das Product aus der Intensität mit dem Widerstand des Stromkreises. Volta war es, der die Existenz einer solchen Kraft zuerst nachwies, daher die Wahl seines Namens für diese Kraft sehr passend erscheint, ebenso wie die Wahl des Namens Ohm für das Widerstandsmaass, da Ohm den Einfluss des Widerstandes auf die Stromstärke zuerst richtig festgestellt hatte. Die Wahl der Einheiten, welche das metrische System darbietet, war eine sehr geschickte, um in dem Gauss-Weber'schen Systeme Einheiten von praktischem Werthe zu gewinnen.

Theoretisch war dies Alles nun sehr schön und zweckmässig ausgesonnen, wenn es möglich wurde, nach diesem Systeme die Einheiten praktisch auch messend zu bestimmen. Nach den Ampère'schen und Neumann'schen Gesetzen für die elektromagnetischen Fernwirkungen und nach dem von Lenz und Joule gefundenen Gesetz für die Wärmeentwickelung im Stromkreise kann man die Anziehungen und Abstossungen der Stromleiter, die Grösse der Inductionsströme und den Arbeitsverlust durch Wärmeentwickelung in den Drahtleitungen unmittelbar berechnen, wenn die elektromotorischen Kräfte, die Stromintensitäten, die Widerstände nach den Maasseinheiten dieses Systems gemessen sind.

Von den Schwierigkeiten, die Stromeinheit praktisch zu bestimmen durch ihre chemische Wirkung, habe ich schon gesprochen; es zeigte sich, dass die absolute Bestimmung des Ohm und Volt um nichts leichter war. Es mussten sehr complicirte Apparate, zum Theil von grossen Dimensionen mit ungeheuren Massen von Drahtwindungen, erbaut werden, um die Bestimmungen machen zu können. Die Versuche sind hauptsächlich nach den Plänen und unter Leitung von Clerk Maxwell im Laboratorium der Universität Cambridge ausgeführt und Etalons

des Ohm hergestellt worden; aber die Herstellung und Uebereinstimmung der verschiedenen Etalons ist nicht sehr weit gediehen. Ich will Ihnen nur ein paar Zahlen von den verschiedenen Bestimmungen geben und dabei bemerken, dass die Siemens-Einheit viel leichter sehr genau zu bestimmen ist, und dass also die Schwankungen in den Zahlen nicht in der Bestimmung der Siemens-Einheit, sondern in der des Ohm zu suchen sind. So beträgt z. B. 1) der Werth, den die *British Association* gefunden hat, 1 Siemens = 0,95302 Ohm; 2) der Werth, den Professor Friedrich Kohlrausch gefunden hat, 0,9717 Ohm; 3) der Mittelwerth einer Reihe von Bestimmungen, die neuerdings Professor Friedrich Weber in Zürich ausgeführt hat, 0,9550 Ohm [1]). Also schon in der zweiten Stelle sind Abweichungen von zwei Einheiten. Ehe noch von dem Elektrischen Congress die Rede war, hatte Lord Rayleigh im Laboratorium der Universität Cambridge den Anfang gemacht, die Versuche zu wiederholen; er hatte auch die Rechnungen prüfen lassen und dabei gefunden, dass ein Rechenfehler vorgekommen war, der sogar einen bedeutenderen Einfluss hatte, als die Fehlerquellen experimenteller Art, so dass das Ohm vielleicht um 1 bis 2 Proc. falsch bestimmt worden war. Die älteste Bestimmung von Gustav Kirchhoff ist leider nur durch die Dimensionen eines Kupferdrahtes angegeben, unter der Voraussetzung, dass Kupfer immer ziemlich gleichen Widerstand darbietet; wie wir jetzt wissen, ist dieses leider nicht der Fall.

Das war also der Zustand der Dinge, wie er sich auf der Grundlage der Gauss-Weber'schen Versuche entwickelt hatte. Inzwischen hatte Herr Werner Siemens den sehr dankenswerthen Schritt gethan, auf anderem Wege nach einem genau präcisirten Widerstand zu suchen, der mit verhältnissmässig viel einfacheren Apparaten und doch mit sehr grosser Genauigkeit hergestellt werden kann. Das Gelingen seiner Quecksilbereinheit hat einen grossen Fortschritt in Bezug auf die Vergleichbarkeit elektrischer Messungen bewirkt. Die Siemens-Einheit hat die Möglichkeit für sich, zu jeder Zeit eine genaue Controle eintreten lassen zu können, welche leicht auszuführen ist. Die Quecksilbereinheit wird bestimmt durch den Widerstand eines Quecksilberfadens von 1 m Länge und von 1 qmm Querschnitt bei

---

[1]) Eine Uebersicht neuerer Bestimmungen siehe in dem Zusatze Anhang VII.

einer Temperatur von 0°. Quecksilber ist verhältnissmässig leicht in einem hohen Grade von Reinheit zu beschaffen. Der Querschnitt der Röhre, die das Quecksilber enthält, kann durch Füllung derselben mit Quecksilber und Wägung leicht sehr genau bestimmt werden. Als Widerstandsmaass hat das Quecksilber festen Metallen gegenüber den grossen Vorzug, eine Flüssigkeit zu sein, welche ihre molekulare Structur nicht verändern kann; während Drähte aus festen Metallen, wenn starke Ströme hindurchgehen, ihren Krystallisationszustand und dabei ihr Leitungsvermögen nicht unwesentlich verändern. Diese Aenderungen sind verhältnissmässig wenig studirt, und wir wissen z. B. noch nicht, ob die Kupferdrähte, welche von der *British Association* als Etalons des Ohm verwendet worden sind, nicht ihre Structur merklich verändert haben oder dieselbe verändern werden. Die *British Association* hat drei Drähte anfertigen lassen, welche schon jetzt kleine Abweichungen von einander zu zeigen scheinen; ausserdem sind von verschiedenen Ateliers ungenaue Copien angefertigt worden, so dass gegenwärtig schon eine ziemlich grosse Verwirrung in Bezug auf die Widerstandseinheit in denjenigen Ländern herrscht, wo das Ohm angewandt wurde.

Diese Sachlage hatte der 1881 zu Paris abgehaltene elektrische Congress zu ordnen; es war nicht zu verkennen, dass die englische Ausführung des ursprünglich deutschen Systems von Gauss und Weber ihre Vorzüge hatte, wenn es möglich war, sie wirklich genau auszuführen. Nun war es ein wesentliches Bedürfniss, wenn die beiden Ländergruppen nicht genau dasselbe Maass anwendeten, zu erreichen, dass sie wenigstens Maasseinheiten gebrauchen, welche durch einen Zahlenfactor mit Sicherheit in einander umzurechnen sind. An das Siemens'sche System haben sich angeschlossen Oesterreich, zum Theil auch Russland und ein Theil der östlichen Länder; das englische System dagegen ist verbreitet nicht nur über England und die englisch sprechenden Länder, sondern auch über Frankreich. Da in beiden Ländergruppen eine grosse Zahl von Widerstandsscalen hergestellt worden sind, welche immerhin ein beträchtliches Kapital von Arbeit und Geld repräsentiren, ist nicht anzunehmen, dass diese so leicht weggeworfen werden, um ein anderes System einzuführen.

Was aber erreichbar schien, war, dass die Uebereinstimmung der Maasse bis auf eine leicht auszuführende Umrechnung durch einen Zahlenfactor möglich gemacht werde. Das Ohm ist nicht

weit von der Siemens-Einheit entfernt; ebenso wie wir mit Mark und, Schilling ohne Schwierigkeit rechnen, welche beide durch Goldwerthe bestimmt sind, ebenso leicht werden wir die Bezeichnungen Ohm und Siemens auf einander reduciren, wenn beide in Quecksilberlängen ausgedrückt sind.

Nun haben die englischen Physiker zugegeben, dass ihre Ohm nicht genau übereinstimmen und dass feste Metalle zu Etalons nicht zulässig seien; sie haben demzufolge die Grundlage des Siemens'schen Maasssystems insoweit acceptirt, dass der Congress beschliessen konnte: die Grösse des durch eine internationale Commission genauer als bisher festzustellenden Ohm sei durch die Länge einer Quecksilbersäule von 1 qmm Querschnitt auszudrücken, d. h. in Siemens'schen Einheiten. Dass diejenigen, welche einmal das Ohm eingeführt haben, dabei stehen blieben, dasselbe beibehalten und nur genauer bestimmen zu wollen als bisher, hat am Ende seine berechtigten Motive. Daneben wird auch Deutschland frei sein, seine Widerstandsmaasse in Quecksilberlängen von 1 qmm Querschnitt und so und so viel Meter Länge auszudrücken, d. h. in Siemens'schem Maasse. Die Reduction ist dann leicht und vollkommen sicher. Falls wir das Siemens-Maass beibehalten sollten, würde immerhin die von dem Congress einer internationalen Commission übertragene Bestimmung der genauen Länge des Ohm auch für uns den Vortheil haben, dass wir die genauen Werthe erhalten für die Berechnung der inducirten Ströme und für den Kraftverlust, den ein gegebener Strom erleidet, wenn er durch einen Widerstand von gegebener Länge fliesst. Das sind wichtige Punkte, welche die ganze elektrische Technik beherrschen und welche genau bestimmt werden müssen, wenn man sicher rechnen will. Die Bestimmung des Ohm ist eine Bestimmung der Grösse dieser Wirkungen; also wichtig auch für diejenigen Länder, in welchen die Scalen der Siemens'schen Einheit verbreitet sind und welche deshalb vielleicht vorziehen, bei dieser zu bleiben. Wir haben hier in Deutschland die Schwierigkeiten ungenauer Maasse noch wenig gefühlt, weil unsere Etalons aus einer einzigen und zwar einer sehr gewissenhaft geleiteten Fabrik kommen. Ich kann ja auch in dieser Beziehung mein Zeugniss ablegen, da hier im physikalischen Laboratorium die Studirenden, welche sich in physikalischen Arbeiten üben, Widerstände zu vergleichen haben; ich lege ihnen immer Siemens-Etalons vor, um sie controliren zu lassen, ob diejenigen Abtheilungen, welche gleich sein sollen,

wirklich gleich sind. Selbst in den grossen Abtheilungen von 100 oder 1000 Einheiten findet sich selten ein Fehler, der über ein Hundertstel der Einheit hinausgeht. Wir haben somit schon ein sehr gutes, praktisch bewährtes Messungssystem, und es ist die Frage, ob wir uns entschliessen werden, dasselbe zu verlassen, um zu einem anderen überzugehen, dessen genaue Ausführbarkeit erst noch erprobt werden muss. Uebrigens haben sich die kurz zusammenfassenden Namen, welche die *British Association* eingeführt hat, wie sich nicht leugnen lässt, sehr gut bewährt. Durch sie ist eine grosse Kürze und Bestimmtheit der Sprache gewonnen und es handelt sich jetzt nur noch darum, dieses System von Namen etwas zu erweitern und von Zweideutigkeiten zu befreien.

Die *British Association* hatte ursprünglich nur das Ohm und, als Maass der elektromotorischen Kraft, das Volt festgestellt und benannt. Sie hatte dagegen keinen besonderen Namen für die Einheit der Stromstärke vorgeschlagen, weil für diese schon Weber's Bestimmung vorhanden war und diese nicht übereinstimmte mit der Einheit: $i = \frac{\text{Volt}}{\text{Ohm}}$. Letztere ist nach der deutschen Bestimmung gleich zehn Weber-Einheiten, die auf Millimeter und Milligramm bezogen sind. Inzwischen hatten die englischen Elektriker das Bedürfniss gefühlt, für die Stromstärke ein besonderes Wort zu haben und hatten angefangen, den Namen Weber auch für die englische Einheit zu gebrauchen. So hatten wir also zwei Weber-Einheiten, von denen die englische zehn Mal so gross war als die deutsche. Das ist eine ganze Zeit lang so gegangen; englische Angaben gingen in deutsche Bücher über und deutsche in englische, welche bald die eine, bald die andere Einheit meinten, und schliesslich entstand eine gründliche Confusion. Gerade dadurch, dass die *British Association* vermieden hatte, den Namen Weber zu gebrauchen, war verhältnissmässig schwer herauszubringen, was eigentlich vorgegangen war. Ich selbst habe es erst vor zwei Jahren bemerkt und meine Schüler darauf aufmerksam gemacht. Es ist durchaus nöthig, den Namen Weber von dieser Zweideutigkeit zu befreien. Da Weber definirt hatte, was unter Stromstärke zu verstehen sei, und da in den meisten deutschen Arbeiten diese, verbunden mit der Siemens-Einheit, sowie das Product von beiden als Einheit der elektromotorischen Kraft gebraucht wurde, haben wir darauf bestanden, dass der Name Weber in seiner

ursprünglichen Bedeutung stehen blieb, und dass für die englische Stromeinheit ein neuer Name eingeführt wurde; dazu hat man Ampère gewählt. Dieser soll bezeichnen den Strom, der von einem Volt erregt wird bei dem Widerstande eines Ohm. Dann fanden es die englischen Physiker wünschenswerth, für die Einheit der Quantität der Elektricität einen Namen zu finden; leider hatten sie den Namen Faraday schon vergeben, indem sie das Maass der elektrostatischen Capacität mit Farad bezeichneten. Sie haben deshalb den Namen Coulomb gewählt, der allerdings selbst elektrische Quanta nur durch ihre elektrostatischen, niemals durch ihre elektromagnetischen Wirkungen gemessen hat. Es ist demnach ein Coulomb gleich der Quantität Elektricität, die den Querschnitt eines Drahtes bei der Stromstärke eines Ampère in einer Secunde durchfliesst; andererseits ist auch ein Coulomb gleich der Quantität Elektricität, welche ein Condensator von der Capacität eines Farad unter der elektromotorischen Kraft eines Volt aufnimmt. Letztere Bestimmung definirt das Farad. Also:

$$\text{Coulomb} = \text{Ampère} \times \text{Secunde}$$
$$= \text{Volt} \times \text{Farad}$$
$$\text{Volt} = \text{Ampère} \times \text{Ohm}.$$

Es lässt sich nicht leugnen, dass in vielen Beziehungen die Anwendung der einfach bezeichnenden Namen, welche gewählt sind für passende Grössen, eine grosse Erleichterung gewährt. So wird, wenn es sich um Quantitäten handelt, die Ladung einer Leydener Batterie, eines Condensators oder eines unterirdischen Kabels durch Coulombs zu messen sein, ebenso die Grösse eines momentanen Inductionsstromes oder die Elektricitätsmenge, welche von 1 mg Wasserstoff mitgeführt wird, wenn es sich ausscheidet an einer Platinplatte. Es ergiebt 1 mg Wasserstoff 97 Coulomb. Wird schliesslich die Bestimmung des Ohm durch die neue internationale Commission vollendet sein, so wird es immer noch von der deutschen Regierung abhängen, welches System sie ihren gesetzlichen Bestimmungen zu Grunde legen will. Wie ihre Wahl auch ausfällt, für die technischen und wissenschaftlichen Anwendungen sind die wesentlichen Vortheile eines guten Maasssystems gesichert. Diejenigen, welche mit diesen Elektricitätseinheiten zu rechnen haben, werden fast alle mit dem Gebrauch der Logarithmentafeln bekannt sein und es wird ihnen nicht darauf ankommen, ob sie einen Factor an der einen oder anderen

Stelle der Rechnung einzufügen haben. Wichtig ist es aber, die Sache so weit zu führen, dass die verschiedenen Länder sich über ihre Maasse mit Hülfe genau festgestellter Zahlenfactoren werden verständigen können. Insofern sind auch wir dabei betheiligt, dass in denjenigen Ländern, welche nach Ohm rechnen, wenigstens ein fester Werth desselben eingeführt und in möglichste Uebereinstimmung mit der theoretischen Definition gebracht wird. Auch für uns wird dadurch die Berechnung elektrischer Fernwirkungen, Inductions- oder magnetischer Wirkungen sicherer und genauer gemacht Der Congress hat erreicht, was unter diesen Umständen zu erreichen war; er musste eben bei einem Compromiss bleiben. Dadurch, dass wir gestrebt haben, alle sachlichen Verschiedenheiten auf eine Verschiedenheit von Zahlenfactoren zurückzuführen, die leicht anzuwenden sind, wird aber die Möglichkeit vollkommener Verständigung zwischen den civilisirten Ländern herbeigeführt, selbst wenn diejenigen, welche das Siemens-System eingeführt haben, Bedenken tragen sollten, dasselbe fallen zu lassen.

Antwortrede

gehalten beim Empfang der Graefe-Medaille zu Heidelberg

1886

Hochgeehrte Herren!

Sie haben durch die besondere Ehre, die Sie mir erwiesen haben, eine Last des Dankes auf meine Schultern gelegt, von der ich nicht weiss, ob ich sie tragen kann. Als ich vor einem Jahre von Ihrem Beschluss Kenntniss erhielt, dass ich als Erster gewählt wäre, um die neue durch das Andenken an den unvergesslichen Meister geweihte Ehrengabe zu empfangen, war ich freudig überrascht, aber auch in Zweifel geworfen. Freudig überrascht natürlich, dass Sie der Hülfe, die ich der Ophthalmologie einst zu leisten im Stande war, noch so lebhaft gedenken, nachdem in unserer schnell vorschreitenden Zeit fünfzehn Jahre darüber hingegangen sind, die ich anderen Studien widmen musste; um so freudiger, da inzwischen bei der bewundernswerth schnellen Entwickelung der Ophthalmologie, was ich dazugebracht, den eingehendsten und mannigfaltigsten Prüfungen unterworfen, durch neuere Erfindungen und Untersuchungen zum Theil umgestaltet und überholt worden ist. Schliesslich besteht ja doch der edelste und stolzeste Lohn, den ein Jünger der Wissenschaft erwerben kann, darin, dass die sachkundigsten Männer ihm ihre Werthschätzung für die Früchte seiner Arbeit zu erkennen geben, und zugleich bereit sind, es in so feierlicher und öffentlicher Form auszusprechen, wie dies heute mir gegenüber hier geschieht, auch unter Theilnahme der Universitätsbehörden, in Zeit und Ort sich anschliessend der eben beendeten glänzenden Erinnerungsfeier der halbtausendjährigen wissenschaftlichen Wirksamkeit dieser Universität. In der That habe auch ich ihr als Mitwirkender angehört gerade in der Zeit, wo ich meine physiologisch-optischen Arbeiten abgeschlossen habe, und deren Folgen für die empiristische Theorie der Wahrnehmung zu entwickeln suchte. Insofern fügt sich unser heutiger Act wie eine auf die jüngste Geschichte der Universität bezügliche Episode der Jubelfeier an.

Ich muss diese mir zu Theil werdende ehrenvolle und entgegenkommende Anerkennung um so mehr als ein Glück ansehen, als ein solches durchaus nicht allen Denen zu Theil wird, welche langjährige Arbeit an die Erreichung fern ihnen vorschwebender idealer Ziele gesetzt haben. Ja vielleicht liegt es in der Natur menschlicher Verhältnisse, dass neue ursprüngliche Gedanken sich um so schwerer Anerkennung erringen, je wahrhaft ursprünglicher, je fruchtbarer und je werthvoller sie sind.

Und da beginnt nun meine Verlegenheit. Wenn ich selbst die innere Geschichte gerade meiner ophthalmologischen Funde durchlaufe, so muss ich mir sagen: Einiges war Glück und das Andere war nur die Arbeit eines geschulten Arbeiters, der die von seinen Vorgängern bereit gemachten Mittel und Kenntnisse richtig zu verwenden gelernt hat. Ich habe schon einmal bei der ersten Gedächtnissfeier Graefe's, als wir seine Statue in Berlin enthüllt hatten, denselben Gedanken in einer Tischrede vor Ihnen so ausgedrückt: „Der Augenspiegel war mehr eine Entdeckung, als eine Erfindung", d. h. wenn ein gut geschulter Physiker kam und die Wichtigkeit eines solchen Instruments begriff, so waren die optischen Mittel erprobt, und alle Kenntnisse entwickelt, die nöthig waren, um dasselbe zu verfertigen.

Was zunächst das Glück betrifft, so hat es mich begünstigt, indem es mich in eine Lage zwang, die ich zur Zeit, als ich mich darin befand, durchaus nicht als ein Glück betrachtet habe. Meine Neigung und mein Interesse waren von früher Jugend an der Physik zugewendet. Mein Vater, ein in recht knappen Verhältnissen lebender Gymnasiallehrer, aber ein Mann, der die hochfliegende wissenschaftliche Begeisterung der Fichte'schen Philosophie und der Freiheitskriege sich lebendig bewahrt hatte, erklärte mir, so leid es ihm selber thun mochte, Physik sei keine Wissenschaft, die einen Lebensunterhalt gewähren könne, — damals war sie das in der That nicht — aber wenn ich Medicin studiren wolle, so würde ich auch Naturwissenschaften treiben können. Nun, als moderner Mensch, der, wo er auch hinfällt, immer auf die Füsse fallen muss, keine Zeit hat über verlorene Möglichkeiten zu trauern, sondern aus der Lage, wie sie ist, das Beste zu machen suchen muss, — übrigens auch warten gelernt hat, — nahm ich die Lage, wie sie war, und studirte einstweilen Medicin. Dies erwies sich schliesslich als ein Gewinn. Abgesehen davon, dass ich in dieser Weise zu einer viel breiteren Kenntniss der gesammten Naturwissenschaft gelangte,

als sie im regelmässigen Wege den Studirenden der Physik und Mathematik zu Theil wird, und abgesehen von den günstigen Bedingungen, welche jene Periode einem physikalisch geschulten jungen Mediciner bot, so habe ich bei diesem Studium für meine späteren ophthalmologischen Bestrebungen einen tiefen Eindruck davon gewonnen, welche Summe fruchtloser Gelehrsamkeit und unnütz verbrauchter Druckerschwärze an die Theorie der Accommodation verschwendet, und welcher Abgrund von Nichtwissen unter dem Namen des schwarzen Staars beschlossen war, ein Abgrund, der sich nun freilich, nachdem er durchleuchtet worden ist, noch viel geräumiger gezeigt hat, als man damals ahnen konnte.

Es war vielleicht nöthig, dass der Physiker, der diese Aufgabe lösen sollte, einen tiefen Eindruck von ihrer Wichtigkeit und ihrer anscheinenden Hoffnungslosigkeit hatte, um bei Auffindung der ersten günstigen Spur bereit zu sein, denjenigen Grad von Arbeit daran zu setzen, der doch immer noch nöthig war, um die Lösungen für die praktische Anwendung fertig zu machen. Und vielleicht war es auch nöthig, dass dieser Physiker berufen wurde, Physiologie als Professor vorzutragen. Denn ein Professor steht unter einer sehr wirksamen wissenschaftlichen Disciplin. Er ist genöthigt jährlich den ganzen Umfang seiner Wissenschaft so vorzutragen, dass auch die grossen Köpfe der nächsten Generation, die schon unter seinen Zuhörern stecken, befriedigt sind. Auch ich war, um meinen Zuhörern getreue Rechenschaft vom Stande der Sache zu geben, gezwungen, mir selbst die einschlägigen Fragen nach allen Richtungen hin durchdringend zu überlegen.

Historisch genommen bin ich nun dieser Physiker gewesen; aber es gab damals noch fünf oder zehn andere junge Forscher in Deutschland, die zweifellos, wenn sie unter gleichen Bedingungen vor dieselben Aufgaben gestellt worden wären, in ganz folgerichtiger Weise genau dasselbe geleistet haben würden, wie ich. Hier kann ich mir selbst in meinem Gewissen kein besonderes individuelles Verdienst zuschreiben. Das Verdienst gebührt eigentlich meinem grossen Lehrer, dem gewaltigen Johannes Müller, dafür dass er die Kühnheit gehabt hat einen jungen Militärarzt, der einige kleine physiologische Untersuchungen mit höchst ungenügenden experimentellen Hülfsmitteln durchgeführt und veröffentlicht hatte, der noch nicht einmal Privatdocent war und in der That sich damals noch so unsicher

im Vortrage fühlte, dass er vor seiner eigenen ersten Vorlesung nicht wenig gezittert hat, diesen herauszugreifen und ihn dem preussischen Cultusministerium als geeigneten Candidaten für die Professur der Physiologie in Königsberg vorzuschlagen. Darin sprach sich die damals neue Einsicht in die Grösse der Rolle aus, welche die Physik in der Physiologie zu spielen habe. Uebrigens war es ein kühner Griff, und durch die Ertheilung Ihrer Ehrengabe sprechen Sie heute im Grunde eine Anerkennung für Johannes Müller aus.

Der Augenspiegel hat sich mir recht eigentlich aus der Nöthigung entwickelt in der Vorlesung über Physiologie die Theorie des Augenleuchtens vorzutragen. Warum leuchtet das menschliche Auge unter gewöhnlichen Umständen nicht, da doch in seinem Hintergrunde eine zwar kleine, aber hellweisse Stelle liegt, der Querschnitt des Sehnerven, welche Licht, wie das glänzendste Tapetum von Thieraugen, reflectiren muss? Warum leuchten Thieraugen unter Umständen so besonders hell, trotzdem sie nur von einer fernen kleinen Flamme beleuchtet werden? Die Fragen waren nicht schwer zu beantworten, sobald sie gestellt wurden; jetzt ist die Antwort allgemein bekannt. Sobald sie beantwortet wurden, waren auch die Mittel gegeben, die man anwenden musste, um den Hintergrund eines menschlichen Auges zu beleuchten und ihn deutlich zu sehen.

Die Ophthalmometrie dagegen entwickelte sich aus der Frage nach der Theorie der Accommodation, über welche unzählige Meinungen aufgestellt waren, von denen die meisten sehr leicht zu widerlegen, keine zu beweisen war. Hierbei bin ich selbst lange durch einen Irrthum, den ich bekennen muss, zurückgehalten worden.

Dass die schwachen Lichtreflexe der Linse, die sogenannten Sanson'schen Bildchen, von Anderen gesehen waren, hatte ich gelesen, sie zu sehen gesucht, anfangs auch geglaubt sie zu sehen, dann erkannt, dass, was ich gesehen, ein Hornhautreflex von dem Spiegelbild einer vorderen unbelegten Fläche eines Glasspiegels gewesen war, den ich zur Beleuchtung angewendet. Die anderen Beobachter hatten ihre Methode nicht genau beschrieben; ich hielt es für möglich, dass das Ganze eine Täuschung sei. Als ich endlich jene schwachen Bildchen zum ersten Male unzweifelhaft gesehen und sie nicht einmal so lichtschwach gefunden hatte, wie ich vorausgesetzt, wusste ich auch, dass nun der Vorgang der Accommodation bis in alle Einzelheiten aufgehellt werden

könne. Inzwischen war mir Cramer unter Donders' Leitung zuvorgekommen; er hatte die Veränderung der vorderen Linsenfläche schon vollständig erkannt. Die Feststellung der sehr kleinen Veränderungen der hinteren Linsenfläche erforderte genauere Beobachtungsmethoden, und diese führten zu dem von mir ausgebildeten Systeme der Ophthalmometrie. Erst nachdem die Gestaltveränderungen der Linse nach allen Seiten hin sichergestellt waren, konnte eine richtige Theorie über die Mechanik des Accommodationsapparats gegeben werden.

Eine andere Seite der Ophthalmologie, auf die ich schon früh durch Johannes Müller's Lehre von den specifischen Sinnesenergien hingelenkt wurde, war die Theorie der Farben. Da ich nicht gern in meinen Vorlesungen über Dinge sprach, die ich nicht selbst gesehen hatte, machte ich Versuche, in denen je zwei Spectralfarben sich mischten. Zu meinem Erstaunen fand ich, dass Gelb und Blau gemischt nicht, wie man bisher allgemein behauptet hatte, Grün gaben, sondern Weiss. Grün geben gelbe und blaue Farbstoffe bei ihrer Mischung, und man hatte bis dahin immer die Mischung der Farbstoffe mit der der farbigen Lichter als gleichbedeutend betrachtet. Das ergab zunächst eine eingreifende Abänderung aller bisher aufgestellten Gesetze der Farbenmischungen. Aber es schloss sich noch Wichtigeres daran. Zwei Meister ersten Ranges, Goethe und David Brewster, waren der Meinung gewesen, im Grün könne man das Gelb und das Blau direct sehen. Sie hatten es eben bei allmählicher Mischung durch den Pinsel entstehen sehen und glaubten ihre Empfindung dieser Erfahrung gemäss in zwei Theile zerlegen zu können, die gar nicht darin steckten. Es war dies eine der Thatsachen, die mich zuerst zur empiristischen Theorie der Wahrnehmungen herüberdrängte. Sie bezeichnet noch jetzt den Gegensatz zwischen meinem Standpunkt in der Farbentheorie und dem von Herrn Emil Hering und seinen Anhängern, welche die Meinung festhalten, man könne unmittelbar aus der Empfindung deren einfache Theile herauslesen.

Diese Reihe von Arbeiten führte mich dann schliesslich zu dem Entschluss, die ganze Physiologische Optik neu durchzuarbeiten, was ich in dem von mir herausgegebenen Handbuch gethan habe.

Ueberblicke ich nun diese Reihe von Arbeiten, so kann ich, ganz aufrichtig gesprochen, nicht erkennen, dass ich in diesem Gebiete — ich will von anderen nicht reden — mehr gewesen

wäre, als besten Falls und mit den Augen eines sehr wohlmeinenden Beurtheilers angesehen, ein aufmerksamer, fleissiger, gut geschulter Arbeiter, welcher, sagen wir „gut“, gethan hat, was er zu thun gelernt hatte, und was zu thun eben gelernt werden kann. Stehen einem solchen nun nicht andere Ansprüche gegenüber von Anderen, die Anderes geleistet haben, was zu thun nicht gelernt werden kann?

Diese Frage führt auf Betrachtungen zurück, die ich einst als Prorector dieser Universität, an dieser Stelle stehend, zu entwickeln gesucht habe, nämlich die Frage nach dem verschiedenen Charakter, den die wissenschaftliche Thätigkeit in den verschiedenen Zweigen der Wissenschaft aufweist. Damit hängt auch eine verschiedene Richtung der geistigen Begabung zusammen, welche für die eine oder andere Richtung geschickter macht. Beschränken wir uns hier auf die der Beobachtung und Beherrschung der reellen Welt gewidmeten Zweige der Wissenschaft, so wird das eine Extrem wohl am reinsten in der theoretischen Physik zur Erscheinung gebracht. Hier finden wir die vollendete Beherrschung des Stoffes durch genau definirte, ausnahmslos herrschende Gesetze, deren Folgerungen mit der feinsten Schärfe des mathematischen Denkens zu entwickeln sind. Soweit das gelingt, wird der ursächliche Zusammenhang von allem Dunkel, allem Mystischen befreit; die Kräfte der Natur, die so bezwungen sind, fügen sich nicht nur theoretisch dem Wissen des Menschen, sondern sind auch die Diener seines Willens. Die Erringung neuer Einsichten dieser Art erfordert eben deshalb oft genug die höchste Entwickelung menschlicher Verstandesthätigkeit, zu der nur wenige Individuen fähig sind. Was aber an solchen Kenntnissen einmal errungen und in der genauen und durchsichtigen Form der Wissenschaft zusammengefasst ist, lässt sich sicher und vollständig anderen Geschlechtern überliefern.

Jedoch das Gebiet, welches der unbedingten Herrschaft vollendeter Wissenschaft unterworfen werden kann, ist leider sehr eng, und schon die organische Welt entzieht sich ihm grösstentheils. Handeln müssen wir aber auch in tausend Fällen, wo wir keine klare Einsicht in den Zusammenhang der Dinge haben, im Staate, im Kriege, in allem Verkehr mit Menschen und so auch in der Heilkunst. Hier tritt nun eine andere Seite intellectueller Begabung in den Vordergrund, deren reinste Form wir im Künstler verkörpert sehen. Reiche Erfahrung giebt eine Kenntniss des typischen Verlaufs der Erscheinungen, die der, der

sie hat, nicht in Worten beschreiben kann. Und doch, wenn er zum Handeln berufen wird, so kann er es machen, aber er weiss nicht zu sagen, wie und warum er es so macht. Ich habe die grossen Aerzte von jeher als Künstler in diesem Sinne betrachtet, und die Art, wie sie ihre Kenntnisse zu überliefern suchten, als eine Art allegorischer Darstellung, der man Unrecht thut, wenn man sie als physiologische Theorie ansieht und den Maassstab einer solchen anlegt. Der als Physiker Begabte sieht in diesen Gebieten nur die leicht erkennbaren Mängel solcher Quasi-Theorien, er handelt unsicher und ohne Erfolg, er fühlt sich unbefriedigt und unglücklich, ist deshalb ohne moralischen Einfluss auf die Patienten und deren Pfleger; kurz, er erkennt hier die Grenze seines Könnens.

Nun erlauben Sie, dass ich meinen Schluss auch in eine allegorische Form bringe, um keine persönlichen Bescheidenheiten zu verletzen. Nehmen wir an, da wir uns in einer Allegorie nicht an die historische Wahrheit zu binden brauchen, bis zu den Zeiten des Phidias hätte man keine hinreichend harten Meissel gehabt, um Marmor mit vollkommener Beherrschung der Form bearbeiten zu können. Höchstens konnte man Thon kneten oder Holz schnitzen. Nun aber findet ein geschickter Schmied, wie man Meissel stählen könne. Phidias freut sich der besseren Werkzeuge, bildet damit seine Götterbilder und beherrscht den Marmor, wie Niemand vor ihm. Er wird geehrt und belohnt.

Aber die grossen Genies sind, wie ich immer gesehen, bescheiden gerade in Beziehung auf das, worin sie Anderen höchst überlegen sind. Gerade das wird ihnen so leicht, dass sie schwer begreifen, warum die Anderen es nicht auch machen können. Mit der hohen Begabung ist aber auch immer die entsprechende grosse Feinfühligkeit für die Fehler ihrer eigenen Werke verbunden. Demgemäss sagt Phidias in einem Anfall von grossmüthiger Bescheidenheit dem Meister Schmied: „Ohne Deine Hülfe hätte ich das Alles nicht machen können. Die Ehre und der Ruhm gebührt Dir.“ Dann kann ihm der Schmied doch nur antworten: „Ich hätte es aber auch mit meinen Meisseln nicht machen können, Du würdest doch ohne meine Meissel wenigstens in Thon wunderbare Bildwerke haben kneten können. So muss ich die Ehre und den Ruhm ablehnen, wenn ich ein ehrlicher Mann bleiben will.“

Nun aber wird Phidias der Welt entrissen; es bleiben Freunde und Schüler, Praxiteles, Paionios und Andere. Sie

brauchen alle die Meissel des Schmiedes, die Welt füllt sich mit ihren Werken und ihrem Ruhm. Sie beschliessen das Andenken des Geschiedenen zu ehren, durch einen Kranz, den der erhalten soll, welcher am meisten für die Kunst und in der Kunst der Bildnerei gethan. Der geliebte Meister hat den Schmied oft als den Urheber ihrer grossen Erfolge gerühmt und sie beschliessen endlich ihm den Kranz zu geben. „Gut, antwortet nun der Schmied, ich füge mich. Ihr seid Viele und unter Euch sind kluge Leute, ich bin nur Einer; Ihr versichert, dass ich Einer Euch Vielen viel geholfen habe und dass nun in vielen Orten Bildner sitzen und die Tempel mit Nachahmungen Eurer Götterbilder schmücken, die ohne die Werkzeuge, die ich Euch gegeben, wohl wenig geleistet haben würden. Ich muss Euch glauben, denn ich habe nie gemeisselt, und dankbar annehmen, was Ihr mir zuerkennt. Ich selbst aber würde meine Stimme dem Praxiteles oder Paionios gegeben haben.“

Josef Fraunhofer

Ansprache
gehalten bei der Gedenkfeier zur hundertjährigen Wiederkehr
seines Geburtstages,
Berlin den 6. März 1887

Mir ist der ehrenvolle Auftrag zu Theil geworden, Sie, die Sie in so zahlreicher Versammlung Ihre Theilnahme an dem heutigen Festtage kund gegeben haben, im Namen des Festausschusses zu bewillkommnen, und gleichzeitig den städtischen Behörden den Dank auszusprechen für die Einräumung dieses ersten und prächtigsten Festsaales der Stadt[1]. Was wir feiern, ist in der That ein Gedächtnisstag des deutschen Bürgerthums, auf den dasselbe mit Stolz hinzuweisen Veranlassung hat. Unter den verschiedenen Richtungen bürgerlicher Arbeit nimmt in gewissem Sinne die Kunst der praktischen Mechanik eine hervorragende Stellung ein, wenn auch nicht durch die Grösse der Geldsummen, die sie in Bewegung setzt, — darin steht sie ja vielen anderen Zweigen gewerblicher Thätigkeit, namentlich auch ihrer nächsten etwas handfesteren Schwester, der Maschinenbaukunst, bei weitem nach, — auch nicht durch ihre Verbindung mit den schönen Künsten, in der ihr die Mutter, aus der beide hervorgegangen, die Schlosserei, längst zuvorgekommen war, und nun wieder neues Emporblühen verspricht. Wohl aber steht die Mechanik obenan in dem Streben nach der höchsten Genauigkeit, Sauberkeit und Zuverlässigkeit ihrer Arbeit, und durch den Aufwand von Nachdenken und Ueberlegung, den jedes neue Werk derselben fordert. Ich selbst bin einer, der aus langer Erfahrung Zeugniss dafür ablegen kann, wie hoch diese ersten und höchsten Tugenden bürgerlicher Arbeit bei den leitenden Mechanikern gesteigert sind, wie man Meister, die in dieser Beziehung die höchste Achtung verdienen, nicht nur in jeder Universitätsstadt Deutschlands, sondern auch in mancher mittelgrossen Stadt ohne Universität, immer wieder findet, meist stille, wortkarge, überlegsame Männer, wenig geneigt, sich hervorzudrängen, in rastloser

[1]) Die Ansprache wurde in dem Berliner Rathhause gehalten.

Arbeit und feinster Vollendung ihrer Werke grössere Freude findend, als im Gelderwerb, der noch in kurz zurückliegenden Zeiten zum grossen Theil recht sparsam war, und auch wohl jetzt noch mehr an der fabrikmässigen Verfertigung vieler Copien desselben Instrumentes, als an den eigentlichen Originalarbeiten haftet.

Wer nicht selbst an diesen Arbeiten, wenigstens Rath empfangend und Rath gebend, Theil genommen hat, macht sich kaum einen Begriff von der Genauigkeit der Arbeit und der verwickelten Ueberlegung, die nöthig ist, um zum Ziele zu gelangen. Ich bitte um Verzeihung, wenn ich einem so allgemeinen Thema gegenüber öfter von meinen eigenen Erlebnissen rede. Aber von dem, was man selbst erfahren und wobei man mitgearbeitet hat, kann man sicherer und bestimmter reden, und doch auch bei den Hörern mehr Vertrauen in Anspruch nehmen, als wenn man nur aus Büchern oder nach den Erzählungen Anderer berichtet. Ein wenig wird ein jeder Physiker Dilettant in der praktischen Mechanik sein müssen. Ich selbst war gewöhnt, und habe diese Gewohnheit sehr nützlich gefunden, wenn ich ganz neue Wege der Untersuchung einschlagen wollte, mir Modelle der erforderlichen Instrumente, freilich zerbrechlich und aus schlechtem Material vorläufig zusammengeflickt, herzustellen, die wenigstens so weit reichten, dass ich die ersten Spuren des erwarteten Erfolges wahrnahm und die wichtigsten Hindernisse kennen lernte, die ihn vereiteln konnten. Dabei lernte ich aus eigener Erfahrung beurtheilen, welch schwierige Ueberlegungen bei solchen neuen Sachen gewöhnlich dem Mechaniker zugemuthet werden; z. B. darüber, welche Theile sehr genau gearbeitet sein müssen, welche sehr fest, welche dagegen loser sein dürfen. Und erst wenn ich mit meinen eigenen theoretischen Ueberlegungen und vorläufigen Versuchen fertig war, trat ich in Berathung mit dem Mechaniker, der meine Modelle in Stahl und Messing übersetzen sollte. Nun kamen erst die schwierigeren Fragen.

Dem Laien erscheint ein dickes Stück Messing, Stahl oder Glas als ein Körper von unzweifelhafter Festigkeit und unveränderlicher Form. So lange es bei Abmessung eines Meters auf ein Millimeter mehr oder weniger, also auf ein Tausendtel der Länge nicht ankommt, oder bei Messung eines Winkels nicht auf Winkelminuten, d. h. auf die Grössen, die ein gutes Auge in der Ferne noch eben unterscheiden kann, so kann man die Festigkeit jener Körper schon gelten lassen. Wenn aber die

Hunderttausendtel oder Milliontel der Länge in Betracht kommen, die Winkelsecunden oder gar ihre Zehntel im Erfolge sich zu erkennen geben, dann wird Alles, was fest schien, elastisch, giebt selbst leisem Drucke nach, dehnt sich und verzieht sich durch die Wärme der Hand. Ein grosses Meridianfernrohr auf meterdickem Mauerpfeiler stehend, wendet sich, wenn Sie den Finger gegen den Pfeiler stützen. Bei der starken Vergrösserung des Instrumentes sehen Sie die Verschiebung an dem Gesichtsobject, auf das es gerichtet ist, ganz deutlich. Machen Sie bei einer geodätischen Messung einer Strecke von 100 Kilometer den Fehler von einem Tausendtel, so ist dies ein Streifen von 100 m Breite, schon ein werthvolles Ackerfeld. Lassen sie also an dem ersten Maassstab, mit dem Sie die Grunddistanz, von der Sie ausgehen, messen, oder an Ihren Winkelmessinstrumenten, mit denen Sie das Verhältniss der grösseren Entfernungen zur Grunddistanz ermitteln, einen entsprechenden Fehler zu, so giebt das schon erhebliche Verschiebungen im ländlichen Eigenthum. Wollen wir uns aber gar einen Begriff bilden von unserem Weltsystem, den ungeheuren Entfernungen der Sonne, der Planeten, der nächsten Fixsterne, so müssen wir die Genauigkeit unserer Instrumente auch entsprechend weiter treiben.

Ausser der natürlichen und gesetzmässigen Nachgiebigkeit der sogenannten festen Körper gegen Schwere, Druck und Temperatur kommen nun noch die unregelmässigen und nicht vorherzusehenden Spannungen der Metallstücke in Betracht, die vom Gusse herrühren. Sie bewirken oft genug noch sehr bemerkbare Formänderungen, wenn man nachträglich Einschnitte in die Masse macht, Querschnitte ausführt, oder erhebliche Theile wegnimmt. Selbst der Umstand, dass ein Theil einer abzudrehenden Metallmasse oder einer zu schleifenden Linse durch Berührung mit der Hand oder durch Reiben wärmer geworden ist während des Drehens, kann Unregelmässigkeiten der Form bedingen, die bei starken Vergrösserungen und grosser Feinheit der Messungen sichtbar werden. Der Regel nach ist also bei allen Constructionen, wo es auf sehr grosse Feinheit ankommt, eine sorgfältige Ueberlegung auch betreffs der Ordnung, in der die einzelnen Flächen und Theile auszuführen sind, nothwendig.

In dieser Beziehung habe ich viel von den Mechanikern, mit denen ich Rath hielt, gelernt. Wie weit auch der Physiker, der die Idee des Instrumentes entworfen hat, diese nach Seite der speciellen Ausführung überlegt haben mag, ein Theil dieser

Ueberlegungen bleibt immer übrig, welchen nur der vollenden kann, der das Material selbst zu bearbeiten gewöhnt ist und die Methoden der Bearbeitung aus praktischer Erfahrung kennt. Und gerade von diesem Theile der Ueberlegung hängt es ab, welcher Grad der Feinheit in den Messungen wird erreicht werden können.

Was wären Physik und Astronomie, was wäre unsere Vorstellung vom Weltgebäude und von unserer Atmosphäre, wo wären die Fernrohre, die elektrischen Telegraphen, das elektrische Licht, was wäre aus der Seefahrt und den Landvermessungen geworden, wenn nicht die intelligente Hülfe der praktischen Mechanik immer bereit gewesen wäre.

Diese Klasse von Bürgern nun, die in ihrer stillen Weise die besten Tugenden deutschen Bürgerthums bewahren und bethätigen, begeht heute den Gedächtnisstag eines der ersten und berühmtesten Männer, den sie zu den Ihrigen zu rechnen berechtigt sind, der, aufsteigend aus den ärmlichsten Verhältnissen, durch eigene Kraft und Fleiss unter schweren Hemmnissen sich emporgearbeitet hat zum Inhaber der ihrer Zeit berühmtesten optischen Werkstatt der Erde und wissenschaftliche Entdeckungen gemacht hat, die unsere Kenntnisse vom Weltgebäude in einer nie vorher geahnten Weise ausgedehnt haben, und deren Vervollständigung noch jetzt eine grosse Zahl von Astronomen, Physikern und Chemikern beschäftigt.

Fraunhofer ist ganz auf dem Boden des Handwerks und zwar aus den kümmerlichsten Verhältnissen emporgewachsen. Zehnter Sohn eines armen Glasers aus Straubing in Bayern, früh verwaist, dann als Lehrling ohne Lehrgeld von einem Spiegelmacher in München aufgenommen, d. h. nach damaliger Sitte hauptsächlich als Laufbursche und Hausknecht verwendet, kaum des Lesens kundig. Und doch war sein Sinn diesem Handwerk zugewendet. Nach dem Einsturz des Hauses seines Meisters, als er glücklich unter den Trümmern wieder ausgegraben ist, und als ihn Herr von Utzschneider im Auftrag des mitleidigen Königs fragt, was er werden möchte und wozu er das Geldgeschenk des Königs verwenden möchte, kennt er nur den Wunsch, ein tüchtiger Brillenmacher zu werden. Und in diesem Sinne verwendet er sein Geld, im richtigen Sinne kühn — er kauft sich eine Glasschleifmaschine — in allen anderen Beziehungen höchst sparsam. Zugleich sieht er ein, dass er sich unterrichten müsse; zur Feiertagsschule verschafft er sich Zutritt, und da er

im Hause des Meisters nicht lesen darf, weil dieser kein Licht im Schlafzimmer duldet und seine Studien auf Feiertagsstunden im Freien angewiesen sind, macht er sich mit einem Theile des königlichen Geschenkes frei von dem Rest seiner Lehrzeit und sucht sich selbst als Glas- und Metallschleifer einzurichten. Immer unter allen Hindernissen hat er nur ein Ziel vor Augen, zunächst die höchsten Stufen in seinem Handwerk zu erreichen, die er kennt, und für die feinste Arbeit, die in diesem Kreise liegt, sich fähig zu machen.

Der ernsthafte und lernbegierige junge Mensch hatte die Aufmerksamkeit Utzschneider's gefesselt. Da dieser inzwischen die Salinenverwaltung verlassen und mit Reichenbach und Liebherr ein optisch-mechanisches Institut eingerichtet hatte, gedachte er des armen Glaserlehrlings und zog ihn 1806 für die Ausführung der optischen Arbeiten herbei.

Hier war nun Fraunhofer an seinem rechten Platze; nun hatte er ungehinderte ebene Bahn vor sich und er zeichnete sich schnell so aus, dass schon nach drei Jahren ihm die Leitung der ganzen optischen Abtheilung des Institutes übertragen wurde.

Er aber hielt, ohne abzuirren, die eingeschlagene Bahn praktisch-optischer Aufgaben ein. Verbesserung der Schmelzungsprozesse des Glases, Befreiung der gewonnenen Glasstücke von ihren Fehlern, genaue Herstellung der verlangten Krümmungen der Linsen waren die Aufgaben, die zunächst vorlagen und welche um so vollständiger und feiner gelöst werden mussten, je grössere Teleskope man construiren, je mehr man die Reinheit und Genauigkeit ihrer Bilder steigern wollte. Eine Reihe neuer Methoden, die Fraunhofer damals erfand und durchführte, sind die Grundlage auch für die entsprechenden Bestrebungen der Folgezeit geblieben.

Eine andere Aufgabe aber führte ihn weiter. Um sogenannte achromatische Fernrohre herzustellen, d. h. solche, die die Grenzlinien zwischen hellen und dunklen Flächen nicht durch Säume von Regenbogenfarben entstellen und verwischen, musste man die dem Object zugekehrten Linsen der Fernrohre aus je zwei Linsen von verschiedenem Glase herstellen, aus sogenanntem Crownglas und dem bleihaltigen Flintglas. Nachdem der berühmte Mathematiker Euler angegeben hatte, wie die Krümmungen beider Linsen den verschiedenen Brechungsverhältnissen anzupassen seien, hatte zuerst ein englischer Optiker John Dollond 1757 dergleichen achromatische Teleskope zu Stande

gebracht, daher sie noch lange im Handel als Dollonds bezeichnet wurden. Aber um im Voraus die Krümmungen der Gläser berechnen zu können, welche die zusammengesetzte Linse von der Farbenzerstreuung befreien würden, musste man die Brechungsverhältnisse einer gewissen Anzahl der farbigen Strahlen kennen, die im Regenbogen wie in dem prismatischen Bilde einer schmalen Lichtquelle aus dem weissen Lichte der Sonne ausgeschieden werden. Die prismatischen Bilder aber, die man bis dahin zu Stande gebracht hatte, waren breite farbige Streifen, zwar glänzender und reiner in ihren Farben als der Regenbogen, aber die Farben gingen wie in diesem in unmerklicher Abstufung in einander über. Man hatte nirgend eine scharfe Grenze, die man als festen Merkpunkt hätte benutzen können, um zum Zweck einer Winkelmessung ein Fernrohr darauf einzustellen. Man konnte wohl erkennen, dass Flintglasprismen bei gleicher Ablenkung der Strahlen von der geraden Linie ein breiteres Spectrum gaben, aber eine genaue Zahl für das Breitenverhältniss des ganzen Bandes, oder gar seiner einzelnen Farbenstreifen war nicht zu gewinnen. Man war also darauf angewiesen, aus einer Anzahl von Crownglas- und Flintglaslinsen diejenigen auszusuchen, welche zufällig gut zu einander passten, und sie zu verwenden. Aber das gefundene Verhältniss liess sich schon nicht mehr gut auf zwei andere Glasstücke anwenden, da man nicht im Stande war, immer wieder genau dieselben Glasproben zu erzeugen. Bei kleinen billigen Linsen, von denen man leicht eine grosse Zahl schleifen konnte, kam man auf diese Weise zum Ziele. Für kostbare grosse Gläser, deren Schleifen grosse Zeit und Arbeit erforderte, war das aber nicht durchführbar. Für die ganz grossen Fernrohre, wie sie der ältere Herschel construirte, blieb man also noch auf die übrigens unbequemen Spiegelteleskope angewiesen, in denen statt der Objectivlinsen grosse Hohlspiegel gebraucht wurden.

Dieser Zustand der Dinge war für Fraunhofer die Veranlassung, zunächst sich bessere Prismen herzustellen, sorgfältiger gearbeitet und von grösserer Oeffnung, als man sie vorher gehabt hatte, so dass er das prismatische Farbenfeld nicht nur mit blossem Auge, sondern auch durch vergrössernde Fernrohre untersuchen konnte. Er hatte im Spectrum des Lichtes von Alkohol und Oelflammen einen feinen hellen gelben Streifen schon wahrgenommen. Wir wissen jetzt, dass dieser Streifen eintritt, wenn am Docht oder in dem Brennmaterial Spuren von Kochsalz oder

anderen Natronsalzen vorkommen. Möglicherweise konnte ja das Sonnenlicht in einem sorgfältig hergestellten Spectrum Aehnliches zeigen. In der That hatte der englische Physiker Wollaston Andeutungen einiger verwaschenen dunkleren Streifen darin schon gesehen.

Als aber Fraunhofer mit seinem Apparat fertig war, enthüllte sich ein Reichthum und eine Feinheit der Erscheinung, auf die Niemand gefasst war. Das Sonnenspectrum war von unzähligen meist äusserst feinen, zum Theil auch stärkeren dunklen Linien durchzogen, die, in charakteristischer Weise gruppirt, immer leicht wiedererkannt werden konnten. Licht anderer Fixsterne zeigte andere Liniengruppen, Licht irdischer leuchtender Flammen meist keine.

Zunächst hatte Fraunhofer hiermit in unverhofft glücklicher Weise gefunden, was er gesucht; die nach ihm benannten dunklen Linien im Spectrum des von der Sonne ausgegangenen Lichtes gaben feste Merkzeichen in dem Farbenfelde von einer Feinheit, dass die allerschärfsten Messungen der Brechungsverhältnisse des Glases, aus dem das Prisma bestand, nun gemacht werden konnten; und am Rande der rohen Glasscheibe, aus der ein Fernrohrobjectiv gemacht werden sollte, brauchte man nur noch zwei kleine gegen einander geneigte ebene Flächen auszuschleifen, die man wie Flächen eines Prismas zum Durchsehen benutzte, so konnte an dem Glasstück selbst, ehe man die Kugelflächen schliff, die Brechung der verschiedenen Farben gemessen und die Rechnung über die den Linsen zu gebende Form mit dem höchsten Grade von Genauigkeit ausgeführt werden. Seitdem ist der Sieg der grossen achromatischen Fernrohre über die Spiegel entschieden. Die letzteren behalten ihren Vorzug nur noch, wo auch die dunklen Wärmestrahlungen untersucht werden sollen.

Was aber Fraunhofer hier im Bestreben, die ihm gestellten praktischen Aufgaben so gründlich als möglich zu lösen, erreicht hat, war etwas viel Grösseres, als nur ein Mittel, gute Fernrohre zu machen. Zunächst erschien es freilich als ein Geheimniss, dessen Grund man nicht errathen konnte, so sehr es auch den Scharfsinn aller Physiker zu der grössten Anstrengung aufregte. Der Schlüssel zu dieser Welt wurde freilich wieder fast ein halbes Jahrhundert später durch Robert Bunsen und Gustav Kirchhoff gefunden. Die vor uns lebten, dahinziehen sahen sie wohl die ewigen Sterne am Himmel, aber in unerreichbarer Ferne.

Man kannte ihre Wege, auch zum Theil ihre Abstände von uns. Aber dass man jemals etwas von der Natur der Stoffe, aus denen sie bestehen, würde wissen können, ohne die Dinge in der Hand zu haben, das war ein Gedanke, so hoffnungslos, dass wohl jeder, der ihn dachte, ihn auch sogleich als eine ausschweifende Phantasterei abwies. Und gerade dies sollte durch Fraunhofer's Entdeckung in Erfüllung gehen. Die von Utzschneider auf sein Grab gesetzte Inschrift: „*Approximavit sidera*“, „Er hat uns die Gestirne nahe gebracht“, fand noch einen ganz anderen Sinn als sein Freund damals ahnte. Die dunklen Linien, welche er in dem zum farbigen Spectrum ausgebreiteten Licht der Sonne fand, entstehen, wie wir jetzt wissen, dadurch, dass in der Atmosphäre, die den glühenden Sonnenkörper umgiebt, Dämpfe uns wohl bekannter irdischer Substanzen verbreitet sind, und durch Untersuchung irdischer Flammen, welche Dämpfe von Metallsalzen enthalten, können wir ermitteln, von welchen Substanzen jene Liniengruppen herrühren. So finden sich zwei nahe zusammenstehende Linien, die in der goldgelben Flamme kochsalzhaltigen Alkohols als helle Linien vorkommen, im goldgelben Theil des Sonnenspectrums genau an derselben Stelle wieder. Andere Fixsterne enthalten in ihren Atmosphären andere Bestandtheile als die Sonne, und wir können das Vorkommen des Wasserstoffes, des eigenthümlichen Grundbestandtheils des Wassers, und des Stickstoffes, des Hauptbestandtheiles unserer Atmosphäre, hinausverfolgen bis in die fernsten Nebelflecke, die aller Auflösung durch die mächtigsten Fernrohre bisher spotten, ja wir können an dem Spectrum erkennen, dass deren Substanz wirklich zum Haupttheil noch in luftartigem Zustande ist.

Nicht weniger freilich verdankt die Astronomie der auf der von ihm gelegten Grundlage fortgeschrittener Kunst im Bau der Fernrohre, die theils die Formen der Himmelskörper uns vollständiger kennen lehrten, theils eine Menge vorher unbekannter sichtbar machten, aber auch erlaubten, die Messinstrumente mit viel höheren Vergrösserungen auszurüsten und dem entsprechend die Feinheit der Messungen zu steigern. Dieser Erfolg wendete Fraunhofer's Aufmerksamkeit den optischen Erscheinungen in grösserer Ausdehnung zu. Er hatte in sinnreicher Weise Newton's Entdeckung von den Farben dünner Blättchen, wie sie die allbekannten Seifenblasen zeigen, zu benutzen gewusst, um die Krümmung geschliffener Linsenflächen der feinsten möglichen Prüfung zu unterwerfen. So kam er leider erst nahe vor dem Ende

seines kurzen Lebens zu eigentlich wissenschaftlichen Untersuchungen hinüber, d. h. zu Untersuchungen, die keinen unmittelbaren technischen Zweck vor sich hatten, sondern nur nach Vollständigkeit unserer optischen Kenntnisse strebten. Dass er durch eine Federfahne nach einem Licht blickend, Farbenerscheinungen, denen des Prismas ähnlich, sah, regte ihn an, die durch regelmässige Reihen schmaler Spalte entstehenden Spectra in möglichst vollkommener Weise durch fein liniirte Glasplatten zu erzeugen. Er fand auch in diesen seine Liniensysteme wieder, und zwar hier unabhängig von dem wechselnden Brechungsvermögen der durchsichtigen Substanzen geordnet. Daran schlossen sich Untersuchungen verwandter farbiger Erscheinungen, die die trübe Atmosphäre um Sonne und Mond erzeugt.

Der arme Glaserlehrling, der sich einst, was er an Unterricht genossen, mühsam hatte selbst verschaffen und dem Schicksal abringen müssen, wurde 1817 zum Mitglied der Akademie der Wissenschaften in München ernannt und war durch das ganze wissenschaftliche Europa gefeiert und berühmt. Die von ihm gegründete optische Werkstatt ist als eine der ersten und bedeutendsten Deutschlands zunächst durch seinen Assistenten Georg Merz weiter geführt worden, und blüht noch jetzt unter dessen Sohne Siegmund Merz.

Unwillkürlich muss man bei ihm an einen anderen grossen Physiker Europas denken, dessen Lebensbahn viel Aehnlichkeit mit der Fraunhofer's hatte, nämlich an Michael Faraday. Auch er begann seine Laufbahn als ein armer Buchbinderlehrling, ununterrichtet und mittellos. Auch er war darauf angewiesen, sich in Nebenstunden, und zwar anfangs aus den Büchern, die er binden sollte, selbst zu unterrichten. Auch er hatte von Anfang an das Ziel, dem er sein Leben widmete und in dem er das Höchste leisten sollte, fest vor Augen, wie durch eine Inspiration belehrt, auch er hatte denselben rastlosen Fleiss und die Treue in der Arbeit, die die wahre Quelle der grossen Leistungen sind. Zu den wichtigsten Theilen der jetzigen Elektrotechnik hat er durch seine Entdeckung der durch Magnete hervorgerufenen elektrischen Ströme die Grundlage gegeben.

Ein Unterschied zwischen den beiden grossen Männern liegt aber darin, dass Fraunhofer auf dem Boden des Handwerks stehen blieb, von dem er ausgegangen war. Er wünscht, ein guter Brillenmacher zu werden, wie er Utzschneider im Beginn ihrer Bekanntschaft erklärte; freilich wurde er ein besserer

Brillenmacher, als je vor ihm einer gelebt hatte; aber Glas zu bearbeiten und alle Vorzüge des Glases bis zu ihrer höchsten Vollendung herauszuarbeiten, blieb doch bis zu Ende das Hauptstreben seines Lebens; der reine durchsichtige Stoff und die wunderbaren Bilder, die es zur Linse geschliffen zeigen kann, hatten seine Phantasie gefesselt, wie die Schönheit einer Geliebten. Auch seine wissenschaftlichen Entdeckungen entspringen aus seinem Streben, die achromatischen Linsen zu höchster Vollkommenheit zu führen. Fraunhofer ist in dieser Beziehung das Vorbild, welches zeigt, zu welcher Höhe die Arbeit des Handwerkers führen kann, wenn der ganze Fleiss, die ganze Treue und der ganze Scharfsinn eines begabten Mannes daran gesetzt werden, um jeden Mangel zu beseitigen.

Bei Faraday lag die Sache insofern anders, als die Buchbinderei ihm nur nebensächlich einen Anstoss gab und ihm das Leben fristete, bis sich der berühmte Chemiker Humphrey Davy seiner annahm. Ihn trieben keine praktischen Aufgaben, sondern nur die Forschungslust. Nur wo sein Vaterland ihm Aufgaben stellte, zum Beispiel für die Beleuchtung der Leuchtthürme, und auch für die Bereitung optischen Glases, arbeitete er über technische Fragen.

Diese letzteren Arbeiten wurden durch eine Mahnung des als Jurist und Politiker, wie als Forscher in der Lehre vom Licht gleich berühmten Sir David Brewster hervorgerufen, welche deutlich zeigt, welchen Eindruck Fraunhofer's Arbeiten bei den urtheilsfähigsten Männern des Auslandes machten. Er hatte im *Edinburgh Journal of Science*, *Heft* 9 Struve's Bericht über Fraunhofer's für die Sternwarte von Dorpat geliefertes Fernrohr übersetzen lassen, und schliesst: „Wir halten dafür, dass kein Engländer diese Beschreibung wird lesen können, ohne die Empfindung stechendsten Schmerzes, weil England seinen Vorrang in der Verfertigung der Achromate und die Regierung eine der Quellen ihrer Einkünfte verloren hat. Sie wird hiernach in wenig Jahren die Ueberlegenheit englischer Künstler im Verfertigen von Instrumenten mit weitgehender Theilung für feste Observatorien nicht mehr zu behaupten vermögen. Wenn aber für wissenschaftliche Talente diese Quellen der Beschäftigung versiegen, so muss mit ihnen zugleich auch der wissenschaftliche Charakter des Landes verschwinden; die britische Regierung wird aber, wenn es zu spät ist, ihr gänzliches Nichtbeachten der Pflege wissenschaftlicher Anstalten Grossbritanniens beklagen.

Sobald eine grosse Nation aufhört, in den Künsten Triumphe zu feiern, dann ist die Besorgniss nicht unbegründet, sie möchte auch aufhören durch die Waffen zu triumphiren.“

So der berühmte Engländer. Seine Mahnung war nicht fruchtlos; in diesem Gebiete hat sich Grossbritannien aufgerafft und vielleicht wieder den Vorrang gewonnen. Aber auch Deutschland ist thätig; wir haben schon gesicherte Aussicht auf weitere wichtige Vervollkommnungen des optischen Glases durch die von der Preussischen Regierung unterstützten Arbeiten der Herren Abbe und Schott in Jena gewonnen, und die Kaiserliche Reichsregierung hat, wie Sie alle wissen, einen noch viel umfassenderen Plan für Förderung der Mechanik dem Reichstage vorgelegt.

Ihre schönste Wirkung aber wird diese Feier haben, wenn sie unseren jungen Mechanikern, — und nicht ihnen allein, denn derselbe Ruf ergeht an alle Richtungen des Handwerks, — an dem Beispiel ihres grossen Genossen, dessen wir heut gedenken, vor Augen legt, welches Ziel auch der ärmste unter ihnen erreichen kann, und dadurch ihre Hoffnung und ihr Vertrauen auf den endlichen Erfolg treuer und ausdauernder Arbeit belebt.

Goethe's Vorahnungen kommender naturwissenschaftlicher Ideen

Rede
gehalten in der Generalversammlung der Goethe-Gesellschaft
zu Weimar
1892

Es ist eine schöne Sitte der Goethe-Gesellschaft, dass sie den Vertretern der verschiedensten Richtungen wissenschaftlicher und literarischer Thätigkeit Gelegenheit giebt, die Beziehungen ihrer eigenen Gedankenkreise zu denen des unvergleichlichen Mannes darzulegen, dessen zurückgebliebene Spuren sie aufzusuchen und treu zu bewahren bestrebt ist. Männer, die gleich ihm die ganze Fülle der Bildungselemente ihrer Zeit in sich aufgenommen hatten, ohne dadurch in der Frische und natürlichen Selbständigkeit ihres Empfindens eingeengt zu werden, die als sittlich Freie im edelsten Sinne des Wortes nur ihrer warmen, angeborenen Theilnahme für alle Regungen des menschlichen Gemüthes zu folgen brauchten, um den rechten Weg zwischen den Klippen des Lebens zu finden, sind in unseren Zeiten schon sehr selten geworden und werden wahrscheinlich noch immer seltener werden. Die Unbefangenheit und Gesundheit des Goethe'schen Geistes tritt um so bewunderungswürdiger hervor, als er einer tief verkünstelten Zeit entsprang, in der selbst die Sehnsucht zur Rückkehr in die Natur die unnatürlichsten Formen annahm. Sein Beispiel hat uns daher einen Maassstab von unschätzbarem Werthe für das Echte und Ursprüngliche in der geistigen Natur des Menschen zurückgelassen, an dem wir unsere eigenen Bestrebungen mit ihren beschränkteren Zielen zu messen nicht versäumen sollten.

Ich selbst habe schon einmal im Anfange meiner wissenschaftlichen Laufbahn unternommen, einen Bericht über Goethe's naturwissenschaftliche Arbeiten zu geben, bei dem es sich überwiegend um eine Vertheidigung des wissenschaftlichen Standpunktes der Physiker gegen die Vorwürfe, die der Dichter ihnen gemacht hatte, handelte. Er fand damals bei den Gebildeten der Nation viel mehr Glauben als die junge Naturwissenschaft, deren Berechtigung zum Eintritt in den Kreis der übrigen, durch alte Ueberlieferung ehrwürdig gewordenen Wissenschaften man nicht ganz ohne Misstrauen ansah.

Seitdem sind vierzig Jahre einer fruchtbaren, wissenschaftlichen Entwickelung über Europa dahingezogen; die Naturwissenschaften haben durch die von ihnen ausgegangene Umgestaltung aller praktischen Verhältnisse des Lebens die Zuverlässigkeit und Fruchtbarkeit ihrer Grundsätze erwiesen, und daneben doch auch weit umblickende Gesichtspunkte gewonnen, von denen aus gesehen das Gesammtbild der Natur, der lebenden wie der leblosen, sich tief verändert zeigt; man denke nur an Darwin's Ursprung der Arten und an das Gesetz von der Constanz der Energie. Schon das würde einen genügenden Antrieb gegeben haben, um die alten Ueberlegungen zu wiederholen und sie einer neuen Prüfung zu unterwerfen.

Für mich gesellte sich dazu aber noch ein besonderes Interesse. Mein Studiengang hatte sich früh physiologischen Problemen zugewendet, namentlich den Gesetzen der Nerventhätigkeit, wobei die Frage nach dem Ursprunge der Sinneswahrnehmungen nicht zu übergehen war. Wie der Chemiker vor dem Beginn seiner eigentlichen Berufsarbeiten die Richtigkeit und Zuverlässigkeit seiner Wage, der Astronom die seines Fernrohrs untersuchen muss: so bedurfte auch die Naturwissenschaft als Ganzes einer Prüfung der Wirkungsweise derjenigen Instrumente, die die Quelle alles ihres Wissens sind, nämlich der menschlichen Sinnesorgane. Dass sogenannte Sinnestäuschungen vorkamen, wusste man; man musste suchen, über die Art ihres Ursprunges so viel zu erfahren, als nöthig war, um sie sicher vermeiden zu können. Die bisherige Philosophie leistete dabei so gut wie keine Hülfe. Denn selbst noch Kant, der für uns Nachkommende das Facit aus den früheren Bemühungen der Erkenntnisstheorie gezogen hatte: fasste noch alle Zwischenglieder zwischen der reinen Sinnesempfindung und der Bildung der Vorstellung des zur Zeit wahrgenommenen, räumlich ausgedehnten Gegenstandes in einen Act zusammen, den er die Anschauung nannte. Diese spielt bei ihm und seinen Nachfolgern eine Rolle, als wäre sie durchaus nur Wirkung eines natürlichen Mechanismus, der nicht weiter Gegenstand philosophischer und psychologischer Untersuchungen werden könnte, abgesehen von seinem Endergebniss, welches eben eine Vorstellung ist, und also auch unter gewissen formalen Bedingungen alles Vorstellens stehen kann, die Kant aufsuchte.

Sobald man annehmen durfte, dass richtige Wahrnehmungen durch unsere Sinne gewonnen seien, war in der inductiven Methode der Naturwissenschaften der weitere Weg der Untersuchung im

Wesentlichen vorgeschrieben. Der Hauptnachdruck fällt dabei darauf, dass die natürlichen Gesetze der Erscheinungen gefunden werden müssen, und dass es gelinge, diese in scharf definirten Worten auszusprechen. Die ersten noch nicht ausreichend geprüften Versuche, ein Naturgesetz aufzustellen, kann man nur als Hypothesen bezeichnen. Die der Beobachtung zugänglichen Folgerungen solcher Hypothese werden aufgesucht und unter möglichst mannigfach abgeänderten Bedingungen mit den Thatsachen verglichen. Die Möglichkeit, das vermuthete Gesetz in Worte zu fassen, hat den grossen und entscheidenden Vortheil, dass es Vielen mitgetheilt wird und Viele an der Prüfung theilnehmen; dass dies unbeschränkt lange Zeit und in einer unbeschränkten Zahl von Fällen vorgenommen werden kann, dass mit der Zahl der Bestätigungen auch die Aufmerksamkeit auf die wahren oder scheinbaren Ausnahmen wächst, bis schliesslich ein so überwältigendes Beobachtungsmaterial zusammengekommen ist, dass kein Zweifel an der Richtigkeit des Gesetzes sich mehr geltend macht, wenigstens nicht in dem Umkreise der durchgeprüften Bedingungen.

Es ist dies ein langer und mühsamer Weg, dessen Erfolg, wie ich nochmals hervorhebe, wesentlich an der Möglichkeit hängt, das betreffende Gesetz in Worten von genau definirtem Sinne auszusprechen. Indessen können wir jetzt in der That schon grosse Gebiete von Naturvorgängen, namentlich innerhalb der einfacheren Verhältnisse der anorganischen Natur, auf wohlbekannte und scharf definirte Gesetze vollständig zurückführen.

Wer aber das Gesetz der Phänomene kennt, gewinnt dadurch nicht nur Kenntniss, er gewinnt auch die Macht bei geeigneter Gelegenheit in den Lauf der Natur einzugreifen und sie nach seinem Willen und zu seinem Nutzen weiter arbeiten zu lassen. Er gewinnt die Einsicht in den zukünftigen Verlauf dieser selben Phänomene. Er gewinnt in Wahrheit Fähigkeiten, wie sie abergläubische Zeiten einst bei Propheten und Magiern suchten.

Indessen finden wir, dass auch noch auf einem anderen Wege als auf dem der Wissenschaft Einsicht in das verwickelte Getriebe der Natur und des Menschengeistes gewonnen, und Anderen so mitgetheilt werden kann, dass diese auch volle Ueberzeugung von der Wahrheit des Mitgetheilten erhalten. Ein solcher Weg ist gegeben in der künstlerischen Darstellung. Es wird Ihnen nicht schwer werden sich zu überzeugen, dass wenigstens in einzelnen Richtungen der Kunst so etwas geleistet wird.

Wir werden späterhin die Frage zu erörtern haben, ob solche Wirkungen auf einzelne Zweige der Kunst beschränkt sind, oder ob Aehnliches in allen vorkommt.

Denken Sie an irgend ein Meisterwerk der Tragik. Sie sehen menschliche Gefühle und Leidenschaften sich entwickeln, sich steigern, schliesslich erhabene oder schreckliche Thaten daraus hervorgehen. Sie verstehen durchaus, dass unter den gegebenen Bedingungen und Ereignissen der Erfolg so eintreten muss, wie er vom Dichter Ihnen vorgeführt wird. Sie fühlen, dass Sie selbst in gleicher Lage den gleichen Trieb empfinden würden, so zu handeln. Sie lernen die Tiefe und die Macht von Empfindungen kennen, die im ruhigen Alltagsleben nie erweckt worden sind, und scheiden mit einer tiefen Ueberzeugung von der Wahrheit und Richtigkeit der dargestellten Seelenbewegungen, obgleich Sie gleichzeitig keinen Augenblick darüber im Zweifel waren, dass Alles, was sie gesehen, nur bildlicher Schein war.

Diese Wahrheit, die Sie anerkennen, ist also nur die innere Wahrheit der dargestellten Seelenvorgänge, ihre Folgerichtigkeit, ihre Uebereinstimmung mit dem, was sie selbst bisher von der Entwickelung solcher Stimmungen kennen gelernt haben, d. h. es ist die Richtigkeit in der Darstellung des naturgemässen Ablaufes dieser Zustände. Der Künstler muss diese Kenntniss gehabt haben, der Hörer ebenfalls, wenigstens so weit, dass er sie wieder erkennt, wenn sie ihm vorgeführt wird.

Wo kommt nun solche Kenntniss her, die sich gerade in solchen Gebieten vorzugsweise zeigt, an denen bisher noch die Bestrebungen der Wissenschaft den wenigsten Erfolg gehabt haben, nämlich im Gebiete der Seelenbewegungen, Charaktereigenschaften, Entschlüsse von Individuen. Auf dem mühsamen Wege der Wissenschaft, durch reflectirendes Denken ist sie sicher nicht gewonnen worden; im Gegentheil, wo der Autor anfängt zu reflectiren, und mit philosophischen Einsichten nachhelfen will, wird der Hörer fast augenblicklich ernüchtert und kritisch gestimmt; er fühlt, dass ein Surrogat eintritt statt der lebensvollen Phantasie des Künstlers.

Die Künstler selbst wissen wenig darüber zu sagen, wo ihnen diese Bilder herkommen; ja gerade die fähigsten unter ihnen werden nur langsam durch den Erfolg ihrer Werke davon belehrt, dass sie etwas leisten, das die Mehrzahl der anderen Menschenkinder ihnen nicht nachzuthun im Stande ist. Offenbar wird

ihnen die Art der Thätigkeit, in welcher sie das Unbegreiflichste leisten, meistens so leicht, dass sie weniger Gewicht darauf legen als auf Nebensachen, die ihnen Mühe gemacht haben. Goethe hat in dieser Weise einmal gegen Eckermann geäussert, dass er glaube, in der Farbenlehre Bedeutsameres geleistet zu haben als in seinen Gedichten, und Richard Wagner hörte ich selbst einmal äussern, dass er seine Verse viel höher schätze als seine Musik.

Wir wissen nun diese Art geistiger Thätigkeit, die so mühelos, schnell und ohne Nachdenken zu Stande kommt, nicht anders zu bezeichnen als mit dem Namen einer Anschauung, speciell künstlerischer Anschauung. Der Begriff der Anschauung ist aber in seinen Merkmalen fast nur negativ. Nach der philosophischen Terminologie bildet er den Gegensatz gegen Denken, d. h. gegen die bewusste Vergleichung der schon gewonnenen Vorstellungen unter Zusammenfassung des Gleichartigen zu Begriffen. Die sinnliche Anschauung ist da ohne Besinnen, ohne geistige Anstrengung, augenblicklich, sowie der entsprechende sinnliche Eindruck auf uns wirkt. Ihr gegenüber findet keine Willkür statt, die Wahrnehmung des ihr entsprechenden Objects ist, wie uns scheint, vollständig durch den sinnlichen Eindruck bestimmt, so dass gleicher Eindruck auch immer gleiche Vorstellung erregt.

Die künstlerische Einbildungskraft operirt allerdings nicht immer mit gegenwärtigen Sinneseindrücken, sondern vielfach auch namentlich in der Dichtkunst, mit Erinnerungsbildern von solchen, die sich aber in den eben besprochenen Beziehungen nicht von den unmittelbar gegenwärtigen Sinnesbildern unterscheiden.

Die bisherige Begriffsbestimmung der sinnlichen Anschauung hat, wie ich schon bemerkte, gar keine Analyse derselben versucht, hilft uns also auch nicht die künstlerische Anschauung zu verstehen.

Indessen haben wir ausreichende Gründe gegen die Auffassung Einsprache zu erheben, als ob beide Arten der Anschauung vollständig frei seien von dem Einflusse der Erfahrung; Erfahrung aber ist ein Ergebniss von Prozessen, die in das Gebiet des Denkens hineinfallen.

Zunächst ist nämlich zu bedenken, dass uns oft genug, namentlich bei plötzlich eintretenden Gefahren, aber auch bei schnell zu ergreifenden günstigen Gelegenheiten blitzschnelle Entschlüsse durch den Kopf schiessen, die aber durchaus nicht

allein durch die Natur des gegenwärtigen Sinneseindrucks gegeben sind. Ueberhaupt gehören hierher alle Fälle, wo wir die Geistesgegenwart des Handelnden rühmen; die Kenntniss der Gefahr beruht dabei der Regel nach nicht auf besonders erschütternden Sinnesempfindungen, sondern nur auf einem Urtheil, das sich auf frühere Erfahrungen gründet. Es kann also nicht zweifelhaft sein, dass die Schnelligkeit, mit der eine Vorstellung auftritt, nichts für den physiologisch mechanischen Ursprung derselben und ihre Unabhängigkeit von Ergebnissen früheren Denkens entscheidet.

Das andere oben angeführte Kennzeichen der sinnlichen Anschauung, dass die Vorstellung des Gegenstandes, die durch Anschauung entsteht, nur von der Art des gegenwärtigen sinnlichen Eindrucks abhängen soll, schliesst allerdings die Mitwirkung von Erfahrungen über veränderte Verhältnisse der Aussenwelt aus, aber nicht solche Erfahrungen, die sich auf unveränderliche Verhältnisse beziehen, sich deshalb immer und immer wieder in gleicher Weise wiederholen, und also, falls sie sich in einem neu eintretenden Sinnesausdruck zugesellen, diesen immer wieder nur in derselben Weise vervollständigen können, wie alle seine Vorgänger. — Hierher gehören offenbar alle durch ein festes Naturgesetz geregelten Verhältnisse.

Um ein Beispiel anzuführen: Ein Schlagschatten kann auf eine beleuchtete Fläche nur fallen, wenn der Schatten werfende Körper vor derjenigen Seite der Fläche liegt, auf welche das Licht fällt. Eben deshalb ist es in jeder malerischen Darstellung eines der wichtigsten Hülfsmittel, um die gegenseitige Lage undurchsichtiger Körper im Raume verständlich zu machen, dass man die Schlagschatten richtig angiebt. Ja, stereoskopische Bilder können uns den Fall vorführen, dass die auf activen Sinneseindrücken beruhenden Vorstellungen von der Lage der gesehenen Umrisslinien in der Tiefe des Bildes und in verschiedenem Abstande vom Auge durch einen falsch gelegten Schlagschatten unterdrückt werden können, so dass die richtige räumliche Anschauung nicht dagegen aufkommen kann.

Ueberhaupt ist der Einfluss, den die Gesetze der Perspective, der Beschattung, des Verdeckens der Umrisse entfernterer Körper, der Luftperspective u. s. w. auf die räumliche Deutung unserer Gesichtsbilder haben, ausserordentlich gross, und doch lässt sich dieser Einfluss nur auf die Mitwirkung gewonnener Erfahrungen zurückführen, obgleich er ebenso sicher und ohne Zögern im Bilde sich geltend macht, wie dessen Farben und Umrisslinien.

Dass also aus der Erfahrung hergeleitete Momente auch bei den unmittelbaren Wahrnehmungen durch unsere Sinne zur Ausbildung unserer Vorstellung vom Gegenstande mitwirken, kann meines Erachtens, nicht zweifelhaft sein. Die specielle physiologische Untersuchung über die Abhängigkeit unserer Wahrnehmungen von den ihnen zu Grunde liegenden Empfindungen giebt Hunderte von Beispielen dafür. Freilich ist es im Einzelnen oft schwer sicher zu trennen, was dem physiologischen Mechanismus der Nerven angehört, was ausgebildete Erfahrung über unveränderliche Gesetze des Raumes und der Natur dazu gegeben hat. Ich selbst bin geneigt dazu, der letzteren den möglichst grössten Spielraum zuzuerkennen.

Uebrigens lässt das Wenige, was wir bisher über die Gesetze unseres Gedächtnisses wissen, uns schon vermuthen, wie solche Wirkungen zu Stande kommen dürften.

Es ist uns Allen wohlbekannt, wie Wiederholung gleicher Folgen von gleichen Eindrücken die im Gedächtniss zurückbleibende Spur derselben verstärkt; es war dies schon in der Schule das von uns vielgeübte Mittel beim Auswendiglernen von Gedichten, Sprüchen, grammatischen Regeln. Absichtliche Wiederholung wirkt sicherer, aber auch wenn die Wiederholung ohne unser Zuthun ausgeführt wird, tritt Verstärkung des Erinnerungsbildes ein. Wir haben schon erörtert, dass das, was sich nothwendig, ausnahmslos in gleicher Weise wiederholen und also durch Wiederholung fixiren muss, die durch ein Naturgesetz, durch die nothwendige Verkettung von Ursache und Wirkung mit einander verbundenen Folgen von Ereignissen sind. Daneben dürfen wir erwarten, dass alle diejenigen Züge eines solchen Vorgangs, die durch zufällig mitwirkende, wechselnde Nebenumstände bedingt sind, sich in ihrer Gedächtnisswirkung gegenseitig stören und meist erlöschen werden. Gerade diese Zufälligkeiten sind es aber, wodurch sich die einzelnen Beispiele eines gesetzmässigen Vorgangs, die uns vorgekommen sind, von einander individuell unterscheiden. Wenn deren Erinnerung schwindet, so verlieren wir dadurch auch das Mittel, in unserem Gedächtniss die einzelnen Fälle noch von einander zu sondern, und sie uns einzeln wieder aufzuzählen. Wir behalten dann die Kenntniss des Gesetzmässigen, verlieren aber das Einzelmaterial der Fälle aus dem Auge, aus denen sich unsere Kenntniss des Gesetzes herleitet, und wissen darum schliesslich nicht mehr uns selbst oder Anderen Rechenschaft davon zu geben, wie wir zu einer

solchen Kenntniss gekommen sind. Wir wissen schliesslich nur, dass das immer so ist, und wir es nie anders gesehen haben.

Solche Kenntniss nun werden wir von den verschiedensten Dingen und Verhältnissen gewinnen können, in der Kindheit beginnend mit den einfachsten Raumverhältnissen und Schwerewirkungen, deutlich zunehmend bei Erwachsenen, aber für aufmerksame Beobachter mit feinen Sinnen ohne Grenze ausdehnbar, so weit in der Natur und in den Seelenregungen Gesetz und Ordnung herrscht.

Dieselben Ueberlegungen, die ich hier zunächst an dem Beispiel der sinnlichen Anschauungen angestellt habe, lassen sich vollständig auch auf die künstlerischen Anschauungen übertragen. Daraus, dass sie mühelos kommen, plötzlich aufblitzen, dass der Besitzer nicht weiss, woher sie ihm gekommen sind, folgt durchaus nicht, dass sie keine Ergebnisse enthalten sollten, die aus der Erfahrung entnommen sind, und gesammelte Erinnerungen an deren Gesetzmässigkeit umfassen. Hierdurch werden wir auf eine positive Quelle der künstlerischen Einbildungskraft hingewiesen, welche auch vollständig geeignet ist, die strenge Folgerichtigkeit der grossen Kunstwerke zu rechtfertigen, im Gegensatze zu dem einst von den Dichtern der romantischen Schule so gefeierten freien Spiele der Phantasie.

Da die künstlerischen Anschauungen nicht auf dem Wege des begrifflichen Denkens gefunden sind, lassen sie sich auch nicht in Worten definiren, und man bezeichnet eine solche, aus Anschauungen zusammengewachsene Kenntniss des regelmässigen Verhaltens, wo man diesen Gegensatz betonen will, als eine Kenntniss des Typus der betreffenden Erscheinung.

Um so viel reicher die Mannigfaltigkeit der sinnlichen Empfindungen ist, verglichen mit den Wortbeschreibungen, die man von ihren Objecten geben kann, um so viel reicher, feiner und lebensvoller kann natürlich die künstlerische Darstellung der wissenschaftlichen gegenüber ausfallen. Dazu kommt dann noch das schnelle Auftauchen der Gedächtnissbilder, die bei geschickt gegebenen Anknüpfungen sich hinzugesellen, so dass es dem Künstler dadurch möglich wird, dem Hörer oder Beschauer ausserordentlich viel Inhalt in kurzer Zeit oder in einem wenig ausgedehnten Bilde zu überliefern.

Als ich Ihnen anfänglich in Erinnerung bringen wollte, dass die Kunst, wie die Wissenschaft, Wahrheit darstellen und über-

liefern kann, beschränkte ich mich zunächst auf das hervorragendste Beispiel der tragischen Kunst. Sie werden vielleicht fragen, ob dies auch für andere Zweige der Kunst gelten soll. Dass dem Künstler sein Werk nur gelingen kann, wenn er eine feine Kenntniss des gesetzlichen Verhaltens der dargestellten Erscheinungen und auch ihrer Wirkung auf den Hörer oder Beschauer in sich trägt, scheint mir in der That unzweifelhaft. Wer die feineren Wirkungen der Kunst noch nicht kennen gelernt hat, lässt sich leicht, namentlich den Werken der bildenden Kunst gegenüber, verleiten, absolute Naturtreue als den wesentlichen Maassstab für ein Bild oder eine Büste anzusehen. In dieser Beziehung würde offenbar jede gut gemachte Photographie allen Handzeichnungen, Radirungen, Kupferstichen der ersten Meister überlegen sein, und doch lernen wir bald erkennen, wie viel ausdrucksvoller diese sind.

Auch diese Thatsache ist ein deutliches Kennzeichen dafür, dass die künstlerische Darstellung nicht eine Copie des einzelnen Falls sein darf, sondern eine Darstellung des Typus der betreffenden Erscheinungen.

Wir nähern uns hier der viel umstrittenen Frage nach dem Wesen, nach dem Geheimniss der Schönheit der Kunst. Diese vollständig zu beantworten, wollen wir heute nicht unternehmen, wir wollen sie nur so weit berühren, als es mit unserem Thema zusammenhängt, welches nur die Darstellung des Wahren in der Kunst betrifft.

Zunächst ist klar, dass, wenn durch die Rücksicht auf die Schönheit und Ausdruckstiefe noch andere Forderungen an den Künstler herantreten, als die Copirung des individuellen Falls ihm erfüllen würde: so wird er diese Forderungen nur dadurch erfüllen können, dass er den individuellen Fall umformt, aber ohne aus der Gesetzlichkeit des Typus herauszutreten. Je genauer also sein Anschauungsbild des letzteren ist, desto freier wird er sich den Forderungen der Schönheit und des Ausdrucks gegenüber bewegen können.

Diese Umbildung der künstlerischen Form geht oft so weit, dass absichtlich in Nebendingen die Naturtreue fallen gelassen wird, wenn dafür eine Erhöhung der Schönheit oder des Ausdrucks in wichtigeren Momenten erreicht werden kann.

Als Beispiele will ich nur anführen Metrum und Reim in der Poesie und die Zufügung der Musik zum Text des Dramas oder des Liedes.

Die gegebenen Wortformen der Sprache sind dem Inhalte der Poesie gegenüber ein äusserliches, gleichgültiges oder selbst unschönes Beiwerk, willkürliches Menschenwerk; sie wechseln schon bei der Uebersetzung in eine andere Sprache. Rhythmus und Reim geben ihnen eine Art äusserlicher Ordnung, aber auch etwas von musikalischer Bewegung, deren Verzögerung, Beschleunigung oder Unterbrechung Eindruck machen kann. Wenn wir auf der Bühne die Sprache zum Gesang erheben, zerstören wir noch mehr die Naturtreue, gewinnen aber dafür den Vortheil, die Seelenbewegungen der handelnden Personen durch die viel reicheren, feineren und ausdrucksvolleren Bewegungen der Töne auszudrücken.

Wie die Rücksicht auf die Ausdrucksfähigkeit der Darstellung in weitesten Kreisen der Kunst mit den Forderungen der Schönheit und denen der reinsten Darstellung des Typus zusammenfällt, ist schon so oft und eingehend erörtert worden, dass ich glaube hier nur daran erinnern zu brauchen.

In meinem Buche über die Tonempfindungen habe ich mich bemüht nachzuweisen, dass auch in der Musik die mehr oder weniger harmonische Wirkung der Intervalle in Melodie und Harmonie mit besonderen sinnlich wahrnehmbaren Phänomenen, den Obertönen, zusammenhängt, welche die harmonischen Intervalle um so deutlicher und genauer abgrenzen, je einfacher und reiner diese sind.

Die Untersuchungen über die Empfindungen des Gesichtsinnes lehren, dass gewisse mittlere Helligkeiten, die uns die angenehmsten zum Sehen sind, gleichzeitig die feinste Unterscheidung der Modellirung der Raumformen und der kleinsten Objecte begünstigen, und dass auch ein gewisses Gleichgewicht der Farben nöthig ist, wenn das Auge nicht durch farbige Nachbilder gestört werden soll.

Ueberhaupt dürfen wir die sinnlich angenehmen Empfindungen als Element der Schönheit nicht verachten; denn Natur hat unseren Leib in langer Arbeit der Generationen so ausgebildet, dass wir Wohlgefallen finden in einer solchen Umgebung, wo die percipirenden Thätigkeiten unserer Seele sich in freiester und sicherster Thätigkeit entfalten können.

Als ein äusseres Zeichen dessen, was ich hier als leicht verständlich oder leicht auffassbar bezeichnet habe, betrachte ich auch den hervorragenden Einfluss des Schönen auf das Gedächtniss des Menschen. Poesie behält sich viel leichter als Prosa.

Offenbar haben deshalb die Völker, welche noch nicht, oder unter denen nur wenige schreiben konnten, ihre Geschichten, ihre Sagen, ihre Gesetze, ihre Moralregeln in Versen aufbewahrt. Ein schönes Gebäude oder Bild oder Lied kann man nicht wieder vergessen, eine Melodie kann sich so festnisten, dass man Mühe hat, sie wieder los zu werden.

Ich meine nun, dass ein wesentlicher Theil von der Wirkung des Schönen in dieser seiner Wirkung auf das Gedächtniss beruht. Auch wenn wir es erst anzuschauen *beginnen*, kommen wir schnell zu einer festen Vorstellung von dem Ganzen, welche uns in den Stand setzt, die Ueberschau und Betrachtung des Einzelnen in ruhiger und behaglicher Weise fortzusetzen, indem wir uns fortdauernd über den Zusammenhang mit dem Ganzen wohl orientirt fühlen.

Jetzt sind wir zu dem Punkte gelangt, wo die Wege des Forschers und des Künstlers sich zu trennen beginnen. Dass das Gedächtniss des Künstlers für diejenigen Erscheinungen, die ihn interessiren, namentlich auch in Bezug auf die Einzelheiten der Erscheinung, feiner und treuer ist, als bei der Mehrzahl anderer Menschen, zeigt sich in unzähligen Beispielen. Ein Landschaftsmaler muss das Bild schnell schwindender Beleuchtungen, vorübergehender Witterungserscheinungen in treuer Erinnerung festhalten können; ebenso die Mondbeleuchtung, bei der er nicht malen kann, die rollenden Wogen des Meeres, die keinen Augenblick stillhalten, um uns deren Bild mit unzähligen Einzelheiten auf die Leinwand hinzuzaubern. Was er im Moment durch flüchtige Skizzen einiger Einzelheiten festhalten kann, ist doch sehr dürftig. Der Hauptsache nach wird er sich durchaus auf sein Erinnerungsbild von dem Gesehenen verlassen müssen.

Am staunenswerthesten erscheint uns das Gedächtniss der Musiker, die, ohne Noten vor sich zu haben, zahllose Compositionen auf ihrem Instrumente vorzutragen wissen; noch staunenswerther das der Dirigenten, die ohne Partitur zahllose Symphonien zu dirigiren im Stande sind, deren einzelne Notenköpfe nach Millionen zählen würden. Aber ich glaube nicht zu irren, wenn ich annehme, dass, was sie im Kopfe haben, durchaus nicht die Noten und die Zahlen der Pausen sind, sondern ganz allein die musikalischen Phrasen des Musikstückes, deren Folge und Verkettung mit Einschluss des Wechsels der Klangfarben, und dass sie nur im Stande sind, mit grosser Sicherheit und Schnelligkeit das, was sie hören wollen, soweit in das Bild der Partitur zurück-

zuübersetzen, als nöthig ist, um ihren Musikern die richtigen Winke zu geben.

Für wissenschaftliche Arbeit hat ein weitreichendes treues Gedächtniss nicht dieselbe Wichtigkeit, wie für die künstlerische. Denn was wir in Worte fassen können, das können wir auch durch die Schrift fixiren. Nur der erste erfinderische Gedanke, der der Wortfassung vorausgehen muss, wird bei beiden Arten der Thätigkeit immer in derselben Weise sich bilden und auftauchen müssen; und zwar kann das zunächst immer nur in einer der künstlerischen Anschauung analogen Weise, als Ahnung neuer Gesetzmässigkeit geschehen. Eine solche besteht in der Auffindung bisher unbekannter Aehnlichkeit in der Art, wie gewisse Phänomene in einer Gruppe von typisch übereinstimmenden Fällen sich folgen. Das Vermögen, bisher ungeahnte Aehnlichkeiten zu entdecken, nennen wir Witz. Unsere Altvordern brauchten dieses Wort auch im ernsten Sinne. Immer bezeichnet es eine plötzlich auftauchende Einsicht, die man nicht methodisch durch Nachdenken erreichen kann, sondern die wie ein plötzliches Glück erscheint.

In ältester lateinischer Bezeichnung ist deshalb der Name des Dichters mit dem des Sehers identisch. Die plötzlich auftauchende Einsicht wird als Divination, als eine Art göttlicher Eingebung bezeichnet.

Gelegentlich kann auch ein günstiger Zufall zu Hülfe kommen und eine unbekannte Beziehung enthüllen; aber der Zufall wird schwerlich benutzt werden, wenn der, der ihm begegnet, in seinem Kopfe nicht schon hinreichendes Material von Anschauungen gesammelt hat, um ihm die Ueberzeugung von der Richtigkeit des Geahnten zu geben. Goethe's Erzählung von der Entdeckung der Wirbelstructur des Schädels bei Gelegenheit des zerfallenen Schafschädels, den er im Sande des Lido von Venedig fand, scheint mir typisch für diese Art von Entdeckungen. Auch erwähnt er sie in der einen Version seiner Erzählung als erste Entdeckung, in der anderen nur als Bestätigung früher erkannter Wahrheit[1].

Uebrigens habe ich Ihnen nun die Gründe für meine Ueberzeugung von der Verwandtschaft zwischen Wissenschaft und Kunst dargelegt, und wir wollen uns der besonderen Thätigkeit Goethe's zuwenden.

---

[1]) Die eine 1823. Morphologie II, Heft 1, S. 50. Die andere in den Annalen zu 1790.

Goethe war nicht der einzige Künstler, der gleichzeitig wissenschaftliche Forschungen betrieb; um nur einen Anderen anzuführen, nenne ich Ihnen Leonardo da Vinci, der sich aber mehr praktischen Fragen der Ingenieurwissenschaft und der Optik zuwandte und darin weit vorausschauende Einsicht entfaltete.

Dasjenige Gebiet, in welchem sich Goethe den grössten Ruhm erworben hat, und wo seine Verdienste am leichtesten und deutlichsten einzusehen sind, ist das der thierischen und pflanzlichen Morphologie. Hier gelang es ihm, die feste Ueberzeugung zu gewinnen, dass der Körperbildung der verschiedenen Thier- und Pflanzenformen ein gemeinsamer Bauplan, bis in scheinbar unbedeutende Einzelheiten hinein durchaus folgerichtig durchgeführt, zu Grunde liege. Es war dies eine Aufgabe, die der künstlerischen Auffassung besonders nahe lag, und bei der es schon ein Gewinn war, wenn auch nur dieser Standpunkt, der dem der künstlerischen Anschauung entspricht, zunächst erreicht und festgehalten wurde. Die wissenschaftlichen Anatomen und Zoologen jener Zeit waren durch ein Vorurtheil, nämlich durch den Glauben an die Unabänderlichkeit der organischen Arten, verhindert in der von Goethe eingeschlagenen Richtung zu suchen und auf seine Anschauungen, als er sie ihnen vortrug, einzugehen. Uebrigens weiss er selbst ebenso wenig zu sagen, welche Bedeutung oder welchen Ursprung diese Uebereinstimmung der Formen haben könnte. Bezeichnend sagt er darüber [1]):

„Alle Gestalten sind ähnlich und keine gleichet der andern
Und so deutet das Chor auf ein geheimes Gesetz,
Auf ein heiliges Räthsel. O, könnt ich Dir, liebliche Freundin,
Ueberliefern zugleich glücklich das lösende Wort!“

Erst Darwin hat das lösende Wort gefunden, indem er sich von dem erwähnten Vorurtheil seiner Vorgänger frei machte und auf die schon längst an zahlreichen Beispielen bekannte Umbildungsfähigkeit der Arten unter der Hand des Menschen, wenn er Racen züchtet, hinwies und dann zeigte, dass auch auf die wild lebenden Thiere Bedingungen ähnlicher Art, wie sie absichtlich der Züchter setzt, einwirken und eine erhebliche Umformung der Thierformen in der Reihe der Generationen bewirken können. Ich glaube, dass ich dieses Thema in dieser Versammlung nicht

---

[1]) Gedicht: Die Metamorphose der Pflanzen.

weiter auszuführen brauche; es hängt mit einer der grössten Umwälzungen der Biologie zusammen, die die allgemeinste Aufmerksamkeit erregt hat und eben deshalb in den Kreisen aller Gebildeten viel und eingehend besprochen worden ist. Ich stehe um so mehr davon ab, als an der Universität dieses Landes einer der thätigsten und ideenreichsten Vertreter der Entwickelungslehre wirksam ist. Auch Goethe's Thätigkeit in dieser Richtung ist vielfach und ins Einzelne gehend besprochen worden; zuletzt noch hat uns in dem jüngst erschienenen Bande des Goethe-Jahrbuchs Herr Prof. K. Bardeleben eine Schilderung von der Arbeitsamkeit des Dichters in dieser Richtung gegeben.

Nach einer anderen Seite naturwissenschaftlicher Forschung hin waren seine Bestrebungen weniger glücklich, nämlich in der Farbenlehre. Ausführlichen Bericht über die Gründe seines Scheiterns habe ich schon in meinem älteren Aufsatz über Goethe's naturwissenschaftliche Arbeiten gegeben. Sie lagen wesentlich darin, dass er mit den verhältnissmässig unvollkommenen Apparaten, die er in Händen hatte, die entscheidenden Thatsachen nicht hat beobachten können. Er hat niemals vollständig gereinigtes, einfaches, farbiges Licht vor Augen gehabt und wollte deshalb nicht an dessen Existenz glauben. An dieser Schwierigkeit der vollständigen Reinigung der einfachen spectralen Farben sind Männer, wie Sir David Brewster, gescheitert, der in optischen Versuchen viel erfahrener und gewandter als Goethe und mit den besten Instrumenten ausgerüstet war. Auch dieser hat eine falsche Farbentheorie aufgestellt, in der er wie Goethe behauptete, dass nicht die verschiedene Brechbarkeit der Lichtstrahlen die Farben des prismatischen Bildes bestimme, sondern, dass es drei verschiedene Arten von Licht gäbe: rothes, gelbes, blaues, deren jedes aber mit allen Graden der Brechbarkeit vorkäme. Brewster wurde getäuscht dadurch, dass er die in der That nie fehlende Trübung der durchsichtigen Körper, auf welche Goethe seine ganze Theorie gebaut hatte, nicht kannte, und das durch diese Trübung über das Gesichtsfeld des Beobachters ausgegossene falsche Licht übersah.

Gerade dadurch, dass ich den von Brewster beschriebenen Erscheinungen nachspürte, die mit Newton's Theorie in Widerspruch zu stehen schienen, wurde ich veranlasst, eine noch sorgfältigere Reinigung des farbigen Lichtes zu verwenden, als sie Newton, Goethe und Brewster je gekannt hatten. Ich erreichte schliesslich mein Ziel, aber nicht ohne Mühe, und weiss daher

aus eigener Erfahrung, wie wenig es sich ziemen würde, wollte ich Ihnen hier eine ausführliche Auseinandersetzung der Mangelhaftigkeit von Goethe's Experimenten, den übersehenen Fehlerquellen, den Missverständnissen Newton'scher Sätze u. s. w. geben, um so weniger, als ein höchst bedeutsamer Kern neuer Einsicht auch in diesem verunglückten Bestreben des Dichters verborgen liegt.

Er erklärt es für seine feste Ueberzeugung, dass man in jedem Zweige der Physik ein „Urphänomen“ zu suchen habe, um darauf alle übrige Mannigfaltigkeit der Erscheinungen zurückzuleiten. Der Gegensatz, der ihn abstösst, ist gegen die Abstractionen anschauungsleerer Begriffe gerichtet, mit denen die theoretische Physik damals zu rechnen gewohnt war. Materien — ihrem reinen Begriff nach ohne Kräfte, also auch ohne Eigenschaften — und doch wieder in jedem speciellen Beispiele Träger von ihnen innewohnenden Kräften. Die Kräfte selbst aber, wenn man sie sich losgelöst denken will von der Materie, eine vorgestellte Fähigkeit zu wirken, und doch ohne Angriffspunkte für irgend eine Wirkung. Mit solchen übersinnlichen, unausdenkbaren Abstractionen wollte er nichts zu thun haben, und man muss zugeben, dass sein Widerspruch nicht unberechtigt war, und dass diese Abstractionen, wenn sie auch von den grossen theoretischen Physikern des 17. und 18. Jahrhunderts durchaus widerspruchslos und sinngemäss gebraucht wurden, doch den Keim zu den wüstesten Missverständnissen enthielten, die auch gelegentlich bei verwirrten und abergläubischen Köpfen sich laut machten. Namentlich bei den Anhängern des thierischen Magnetismus und auch in der Lehre von der Lebenskraft haben die von der Materie losgelösten Kräfte eine verhängnissvolle Rolle gespielt.

In dieser Beziehung aber hat gegenwärtig die Physik schon ganz die Wege eingeschlagen, auf die Goethe sie führen wollte. Der unmittelbare historische Zusammenhang mit dem von ihm ausgegangenen Anstosse ist leider durch seine unrichtige Interpretation des von ihm gewählten Beispiels und die darauf folgende erbitterte Polemik gegen die Physiker unterbrochen worden. Es ist sehr zu bedauern, dass er zu jener Zeit die von Huyghens schon aufgestellte Undulationstheorie des Lichtes nicht gekannt hat; diese würde ihm ein viel richtigeres und anschaulicheres „Urphänomen“ an die Hand gegeben haben, als der dazu kaum geeignete und sehr verwickelte Vorgang, den er sich in den

Farben trüber Medien zu diesem Ende wählte. In der äusseren Natur freilich nehmen diese einen grossen Raum ein, da zu ihnen das Blau des Himmels und das Abendroth gehören.

Newton's Corpusculartheorie des Lichtes hatte in der That manche schwerfällige und künstliche Voraussetzung zu machen, namentlich für die Erklärung der eben entdeckten Polarisation und Interferenz des Lichtes, und ist deshalb auch von den Physikern jetzt ganz verlassen worden, die sich vielmehr der Undulationstheorie von Huyghens zuwandten.

Die mathematische Physik empfing den Anstoss zu dem besprochenen Fortschritt ohne erkennbaren Einfluss von Goethe hauptsächlich von Faraday, der ein ungelehrter Autodidact war und wie Goethe ein Feind der abstracten Begriffe, mit denen er nicht umzugehen wusste. Seine ganze Auffassung der Physik beruhte auf Anschauung der Phänomene, und auch er suchte aus den Erklärungen derselben Alles fern zu halten, was nicht unmittelbarer Ausdruck beobachteter Thatsachen war. Vielleicht hing Faraday's wunderbare Spürkraft in der Auffindung neuer Phänomene mit dieser Unbefangenheit und Freiheit von theoretischen Vorurtheilen der bisherigen Wissenschaft zusammen. Jedenfalls war die Zahl und Wichtigkeit seiner Entdeckungen wohl geeignet, auch Andere, zunächst die fähigsten unter seinen Landsleuten, in dieselbe Bahn zu lenken; bald folgten auch deutsche Forscher derselben Richtung. Gustav Kirchhoff beginnt sein Lehrbuch der Mechanik mit der Erklärung: Die Aufgabe der Mechanik ist: „die in der Natur vor sich gehenden Bewegungen vollständig und auf die einfachste Weise zu beschreiben". Was Kirchhoff hier unter der „einfachsten Weise" der Beschreibung versteht, dürfte meines Erachtens nicht weit von dem Goethe'schen Urphänomen abliegen.

Uebrigens waren auch gerade die hervorragendsten unter den älteren mathematischen Physikern nicht so entfernt von derselben Auffassung. Newton und seine Zeitgenossen fanden grosse Schwierigkeit darin, sich Fernkräfte vorzustellen, welche durch den leeren Raum wirkten, gerade so wie neuerdings Faraday und seine Schüler gegen dieselbe Vorstellung Widerspruch erhoben, und die elektrisch-magnetischen Fernkräfte wirklich aus der Physik entfernt haben.

Andererseits ist es gar nicht schwer, das Grundgesetz für die Bewegung der Himmelskörper in der von Goethe verlangten Weise als Urphänomen auszusprechen, so dass darin nur von

beobachtbaren Thatsachen die Rede ist, nämlich so: „Wenn schwere Massen gleichzeitig im Raume vorhanden sind, erleidet jede einzelne von ihnen fortdauernd eine Beschleunigung ihrer Bewegung nach jeder anderen hin, deren Grösse in der von Newton angegebenen Weise von den Massen und ihren gegenseitigen Entfernungen abhängt.“ Dabei ist vorausgesetzt, dass der Begriff der Beschleunigung schon erklärt ist, und auch welchen Sinn man dem gleichzeitigen Bestehen mehrerer Beschleunigungen und Geschwindigkeiten von verschiedener Richtung beizulegen habe. Massen, ihre Geschwindigkeiten und Beschleunigungen sind beobachtbare und messbare Erscheinungen. Nur von solchen ist in dem ausgesprochenen Satze die Rede. Und doch enthält derselbe in sich den Keim, aus welchem der ganze Theil der Astronomie, der die Bewegungen der Gestirne berechnet, sich vollständig entwickeln lässt. Sie sehen aber auch gleich, wie schwerfällig und weitläufig eine solche Form meistens ausfällt.

Newton selbst sprach seine fundamentale Conception des Gravitationsgesetzes in einer Form aus, die das, was über die Phänomene hinausgeht, nur als „Gleichniss“ einführt. Die Himmelskörper bewegen sich nach ihm so, als ob sie durch eine Anziehungskraft der angeführten Grösse gegen einander hingezogen würden. Goethe braucht das Wort „Gleichniss“ ebenfalls in ähnlicher Weise, und zwar in lobendem Sinne, wo er in der Geschichte der Farbenlehre die Meinungen des englischen Mönches Roger Baco auseinandersetzt; dabei fällt allerdings noch einiges Gewicht auf die alte scholastische Voraussetzung einer gewissen Gleichartigkeit zwischen Ursache und Wirkung, welche die neuere Naturwissenschaft nicht mehr anerkennt.

Bei Schiller liegt die Einsicht, dass es sich um das Gesetz handle, klar vor:

Der Weise
Sieht das vertraute Gesetz in des Zufalls grausenden Wundern [1]),
Suchet den ruhenden Pol in der Erscheinungen Flucht.

Das Naturgesetz hat nun freilich noch eine andere Bedeutung uns Menschen gegenüber; es ist nicht nur ein Leitfaden für unseren beobachtenden Verstand; es beherrscht auch den Ablauf aller Vorgänge in der Natur, ohne dass wir darauf zu achten,

---

1) Im Gedicht: „Der Spaziergang“. Die mittlere Strophe bezieht sich unzweifelhaft auf Loder's Sammlung von Missgeburten in der Anatomie zu Jena. Loder wies deren Zusammenhang mit dem normalen Typus nach.

es zu wünschen oder zu wollen brauchen, ja leider oft genug auch gegen unser Wünschen und Wollen. Wir müssen es also als Aeusserungsweise einer Macht anerkennen, die in jedem Augenblicke, wo die Bedingungen für ihre Wirksamkeit eintreten, zu wirken bereit ist. In diesem Sinne bezeichnen wir es als Kraft, und da diese Kraft eben in jedem Augenblicke als wirkungsbereit und wirkungsfähig sich bewährt, schreiben wir ihr dauernde Existenz zu. Darauf beruht meines Erachtens auch die Bezeichnung der Kraft als Ursache der Veränderungen, die unter ihrem Einfluss vorgehen; sie ist das hinter dem Wechsel der Erscheinungen verborgene Bleibende. Die Bezeichnung Sache entspricht ihrem Sinne nach dem lateinischen res, von dem die Termini „real" und „Realität" abgeleitet sind; sie bezeichnet hier das Dauernde, Wirksame.

Alle diese Umbildungen des Begriffs haben ihre volle Berechtigung, insoweit sie bestimmte, der Beobachtung zugängliche Verhältnisse von Thatsachen bezeichnen; und, richtig gebraucht, den grossen Vorzug, dass die abstracte Bezeichnungsform einen viel kürzeren sprachlichen Ausdruck zulässt, als die in Bedingungssätzen entwickelte Beschreibung des Urphänomens. Dass übrigens der Gebrauch abstracter Begriffe im Munde unverständiger Leute, die den ursprünglichen Sinn nicht mehr kennen, zum abenteuerlichsten Unsinn auswachsen kann, ist ja nicht nur der theoretischen Physik eigenthümlich.

Natürlich wäre es eine Täuschung, zu glauben, dass durch diese abstracten Umformungen eine tiefere Einsicht in das Wesen der Sache gewonnen sei. Goethe sagt in seinen Sprüchen in Prosa: „Wenn ich mich beim Urphänomen zuletzt beruhige, so ist es doch auch nur Resignation; aber es ist ein grosser Unterschied, ob ich mich an die Grenzen der Menschheit resignire, oder innerhalb einer hypothetischen Beschränktheit meines bornirten Individuums."

Und weiter:

„Das unmittelbare Gewahrwerden von Urphänomenen versetzt uns in eine Art von Angst. Wir fühlen unsere Unzulänglichkeit; nur durch das ewige Spiel der Empirie belebt, erfreuen sie uns."

Indem wir in diesem Punkte dem gesunden Gefühl des Dichters und seiner tiefen Einsicht die höchste Anerkennung schenken müssen, dürfen wir doch andererseits nicht übergehen, wie das, was der Dichter in der Farbenlehre zu erreichen gesucht hat, gewisse Lücken zeigt, die die wissenschaftliche Behandlung

dieses Gebietes nicht hätte stehen lassen dürfen. Er setzt in seiner Farbenlehre vielfach und ausführlich auseinander, wie nach seiner Meinung blaues oder gelbes Licht entstehe. Dabei sind es immer die Bilder heller oder dunkler Flächen, mit denen er operirt. Diese Bilder haben sich seiner Meinung nach gegen einander verschoben, das Licht des einen soll durch das andere hindurchgehen, letzteres als trübes Medium auf das durchgehende Licht wirken (was, nebenbei gesagt, eine harte Zumuthung an die Phantasie des Lesers ist). Aber er setzt nirgends auseinander, wie denn nun blaues und gelbes Licht nach seiner Vorstellung von einander unterschieden sein sollen. Ihm genügt die Angabe, dass beide etwas Schattiges bei ihrem Durchgang durch die Körper erhalten hätten, aber er hält sich offenbar nicht für verpflichtet, anzugeben, wodurch das Schattige im Blau sich von dem im Gelb, und beide von dem in der Mischung beider, die er als Grün betrachtet, unterscheide. Und gerade in dieser Beziehung giebt Newton's und noch mehr Huyghens' Undulationstheorie die bestimmten Definitionen, die durch die schärfsten Messungen in jeder Weise bestätigt worden sind, und schliesslich zu astronomischen Bestimmungen der Bahnelemente fernster Doppelsterne geführt haben, auf die man nie hoffen zu dürfen geglaubt hatte. Es ist die Anzahl der Lichtschwingungen in gleicher Zeit, welche die Farbe bestimmt, so wie andererseits die Anzahl der Tonschwingungen in gleicher Zeit die Tonhöhe bestimmt.

Offenbar ist ihm das optische Bild, was ihm die Anschauung eines bestimmt geformten körperlichen Gegenstandes oder Feldes hervorruft, das letzte anschaulich Vorstellbare und damit die Grenze seines Interesses gewesen. Die Mittel, durch welche eine solche sinnliche Anschauung gewonnen wird, traten dagegen zurück; ebenso wenig spricht er sich bestimmt darüber aus, wie er sich das Verhältniss der Empfindungen, die in dem sehenden Auge hervorgerufen werden, zu dem objectiven Agens denkt, dem Lichte, dessen Anwesenheit und Art durch die Empfindung angezeigt wird.

Doch sind ihm diese Fragen durch seine Freunde nahe gelegt worden. Er berichtet[1]), dass er auf deren Drängen Kant studirt, und in der Kritik der Urtheilskraft in der That viel

[1]) Zur Naturwissenschaft im Allgemeinen. Einwirkung der neueren Philosophie.

Anregendes gefunden habe, wo er mit Schiller sich eng berührte, während er sich mit der Kritik der reinen Vernunft offenbar nicht recht befreunden konnte. „Ich gab allen Freunden vollkommen Beifall, die mit Kant behaupteten, wenn gleich alle unsere Erkenntniss mit der Erfahrung angehe, so entspringe sie darum doch nicht alle aus der Erfahrung.“ „Der Eingang war es, der mir gefiel, ins Labyrinth konnte ich mich nicht wagen; bald hinderte mich die Dichtungsgabe, bald der Menschenverstand, und ich fühlte mich nirgends gebessert.“ Den ästhetischen Eindruck, den ihm „Kant's Welt der Dinge an sich“ machte, hat er unverkennbar bei Gelegenheit von Faust's Reise zu den „Müttern“ geschildert mit leiser Ironie:

„Um sie kein Ort, noch weniger eine Zeit,
Von ihnen sprechen ist Verlegenheit.“

„Nichts wirst Du seh'n in ewig leerer Ferne,
Den Schritt nicht hören, den Du thust,
Nichts Festes finden, wo Du ruhst.“

Nun hat die physiologische Untersuchung der Sinnesorgane und ihrer Thätigkeit schliesslich Ergebnisse gezeitigt, die in den wesentlichsten Punkten (so weit ich selbst wenigstens sie für wesentlich halte) mit Kant zusammenstimmen, ja die greifbarsten Analogien mit Kant's transcendentaler Aesthetik schon im physiologischen Gebiete geben. Aber auch von naturwissenschaftlichem Standpunkte aus musste Widerspruch erhoben werden gegen die Grenzlinie, welche Kant zwischen den Thatsachen der Erfahrung und den a priori gegebenen Formen der Anschauung gezogen hat, und bei der geforderten neuen Absteckung der Grenze, wobei namentlich die fundamentalen Sätze der Raumlehre unter die Erfahrungsthatsachen rücken, dürften wir vielleicht erwarten, dass auch Goethe sich nicht mehr durch das was er den „Menschenverstand“ nennt, gehindert fühlen würde, sich anzuschliessen.

Solche Formen der Anschauung, wie sie Kant für den ganzen Umfang unseres Vorstellungsgebietes nachzuweisen sucht, giebt es auch für die Wahrnehmungen der einzelnen Sinne.

Der Sehnerv empfindet Alles, was er überhaupt empfindet, in der Form von Lichterscheinungen im Sehfelde. Es braucht nicht äusseres Licht zu sein, was ihn erregt. Auch ein Stoss oder Druck auf das Auge, eine Zerrung der Netzhaut bei schneller Bewegung des Auges, Elektricität, die den Kopf durchfliesst, ver-

änderter Blutdruck erregen in ihm Empfindung; aber in allen diesen Fällen ist die erregte Empfindung immer nur Lichtempfindung und macht im Gesichtsfeld ganz denselben Eindruck, als rührte sie von einem äusseren Lichte her. Stoss, Druck, Zerrung, elektrische Strömung können aber auch die Haut erregen, wir fühlen sie dann als Tastempfindungen; ja dieselben Sonnenstrahlen, welche dem Auge als Licht erscheinen, erregen in der Haut die Empfindung von Wärmestrahlung. Durch elektrische Ströme erregen wir auch Geschmack oder Gehörempfindungen, je nachdem sie die Zunge oder das Ohr treffen.

Daraus also folgt der in neuerer Zeit viel besprochene Satz, dass gerade die eingreifendsten Unterschiede unserer Empfindungen gar nicht von dem Erregungsmittel, sondern nur von dem Sinnesorgan, welches erregt worden ist, abhängen. Wir erkennen die tief einschneidende Natur der bezeichneten Unterschiede an, indem wir von fünf verschiedenen Sinnen des Menschen reden. Zwischen Empfindungen verschiedener Sinne ist nicht einmal eine Vergleichung möglich, nicht einmal ein Verhältniss der Aehnlichkeit oder Unähnlichkeit. Dass wir ein Object als farbiges Gesichtsbild sehen, hängt nur vom Auge ab; in welcher besonderen Farbe wir es aber sehen, allerdings auch von der Art des Lichtes, das es uns zusendet. Dies Gesetz ist von Johannes Müller, dem Physiologen, nachgewiesen worden und als das Gesetz der specifischen Sinnesenergien bezeichnet. Aber auch die im Einzelnen weiter geführten Vergleiche der Qualitäten der Empfindungen je eines Sinnes mit den Qualitäten der einwirkenden Reizmittel lassen erkennen, dass Gleichheit des Farbeneindrucks bei den verschiedensten Lichtmischungen vorkommen kann, und gar nicht mit der Gleichheit irgend welcher anderen physikalischen Wirkung des Lichtes zusammenfällt.

Ich habe deshalb die Beziehung zwischen der Empfindung und ihrem Objecte so formuliren zu müssen geglaubt, dass ich die Empfindung nur für ein Zeichen von der Einwirkuug des Objectes erklärte. Zum Wesen eines Zeichens gehört nur, dass für das gleiche Object immer dasselbe Zeichen gegeben werde. Uebrigens ist gar keine Art von Aehnlichkeit zwischen ihm und seinem Object nöthig, ebenso wenig wie zwischen dem gesprochenen Worte und dem Gegenstand, den wir dadurch bezeichnen.

Wir können die Sinneseindrücke nicht einmal Bilder nennen; denn ein Bild bildet Gleiches durch Gleiches ab. In einer Statue geben wir Körperform durch Körperform, in einer Zeichnung den

perspectivischen Anblick des Objects durch den gleichen des Bildes, in einem Gemälde Farbe durch Farbe wieder.

Nur in Bezug auf den zeitlichen Verlauf können die Empfindungen Bilder des Verlaufs der Ereignisse sein (Correctionen vorbehalten). Unter die Bestimmungen des zeitlichen Verlaufs fällt die Zahl. In diesen Beziehungen leisten sie also in der That mehr, als blosse Zeichen thun würden.

Von den subjectiven Empfindungen des Auges hat Goethe ziemlich viel gewusst, einige selbst entdeckt, die Lehre von den specifischen Energien der Sinne hat er höchstens in unvollkommener Entwickelung durch Schopenhauer kennen gelernt. Was bei Kant oder dem älteren Fichte darauf hinführen konnte, hat er abgelehnt, weil es mit anderen, für ihn unannehmbaren Behauptungen zusammenhing. Wie müssen wir nun staunen, wenn wir am Schluss des Faust den Zustand der seligen Geister, die die ewige Wahrheit von Angesicht zu Angesicht schauen, in den Worten des Chorus mysticus also geschildert finden:

„Alles Vergängliche ist nur ein Gleichniss“,

d. h. was in der Zeit geschieht, und was wir durch die Sinne wahrnehmen, das kennen wir nur im Gleichniss. Ich wüsste das Schlussergebniss unserer physiologischen Erkenntnisslehre kaum prägnanter auszusprechen.

„Das Unzulängliche, hier wird's Ereigniss.“

Alle Kenntniss der Naturgesetze ist inductiv, keine Induction ist je absolut fertig. Wir fühlen nach dem oben angeführten Bekenntniss des Dichters unsere Unzulänglichkeit zu tieferem Eindringen in einer Art von Angst. Das eintretende Ereigniss erst berechtigt die Ergebnisse irdischen Denkens.

„Das Unbeschreibliche, hier ist's gethan.“

Das Unbeschreibliche, d. h. das, was nicht in Worte zu fassen ist, kennen wir nur in der Form der künstlerischen Darstellung, nur im Bilde. Für die Seligen wird es Wirklichkeit.

Damit sind unsere erkenntnisstheoretischen Gesichtspunkte zu Ende. Die Schlussstrophe wendet sich in ein höheres Gebiet. Sie zielt auf die Erhebung aller geistigen Thätigkeit im Dienste der Menschheit und des sittlichen Ideals, welches durch das Ewig-Weibliche symbolisirt ist.

Je tiefer wir in die innerste Werkstatt der Gedanken des Dichters einzudringen suchen, desto schwächer werden die von ihm selbst gegebenen Spuren, denen wir zu folgen haben. Indessen

wenn uns unser eigener Weg schliesslich zu demselben Ziel geführt hat wie ihn, so müssen wir es doch wohl anmerken, auch wo die Zwischenglieder fehlen und der Zusammenhang zweifelhaft erscheinen kann.

Faust rettet sich aus dem unbefriedigten Zustande des in sich selbst gewendeten Wissens und Grübelns, wo er nicht zum sicheren Besitz der Wahrheit zu kommen hoffen darf und die Wirklichkeit nicht zu erfassen weiss, zur That. Ehe er noch den Pakt mit Mephistopheles gemacht hat, führt ihn Goethe vor, offenbar mit der Absicht, die spätere Entwickelung des zweiten Theils vorzubereiten, in der (später hinzugefügten) Scene, wo er das Johannes-Evangelium zu übersetzen unternimmt. Er stösst auf den viel erörterten Begriff des Logos: „Im Anfang war das Wort“. Das Wort ist nur Zeichen seines Sinnes, dieser muss gemeint sein; der Sinn eines Wortes ist ein Begriff, oder wenn es sich auf Geschehendes bezieht, ein Naturgesetz, welches, wie wir gesehen, wenn es als Dauerndes, Wirksames aufgefasst wird, als Kraft zu bezeichnen ist. So liegt in diesem Uebergange vom Wort zum Sinn und zur Kraft, den Faust in seinen Uebersetzungsversuchen macht, zunächst eine zusammenhängende Weiterbildung des Begriffes. Aber auch die Kraft genügt ihm nicht, er macht nun einen entschiedenen Gedankensprung:

„Mir hilft der Geist, auf einmal seh ich Rath
Und schreib getrost: Im Anfang war die That.“

Die Stelle des Evangelium bezieht sich allerdings auf die Urzustände des schöpferischen Geistes, aber Faust sucht nach eigener Beruhigung und findet eine Hoffnung dafür in diesem Gedanken, der den teuflischen Pudel mit gesteigertem Missbehagen füllt, weil er sein Opfer eine rettende Spur finden sieht. Ich glaube also nicht, dass Goethe uns Faust, hier nur durch das theoretische Interesse an dem Act der Weltschöpfung bewegt, vorführen wollte, sondern mehr noch durch seinen subjectiven Durst nach den Wegen zur Wahrheit.

Das erkenntniss-theoretische Gegenbild dieser Scene liegt nun darin, dass die Bemühungen der philosophischen Schulen die Ueberzeugung von der Existenz der Wirklichkeit zu begründen, erfolglos bleiben mussten, so lange sie nur vom passiven Beobachten der Aussenwelt ausgingen. Sie kamen nicht heraus aus ihrer Welt von Gleichnissen; sie erkannten nicht, dass die durch den Willen gesetzten Handlungen des Menschen einen unentbehrlichen Theil unserer Erkenntnissquellen bildeten. Wir haben

gesehen, unsere Sinneseindrücke sind nur eine Zeichensprache, die uns von der Aussenwelt berichtet. Wir Menschen müssen erst lernen, dieses Zeichensystem zu verstehen, und das geschieht, indem wir den Erfolg unserer Handlungen beobachten und dadurch unterscheiden lernen, welche Aenderungen in unseren Sinneseindrücken unseren Willensacten folgen, welche andere unabhängig vom Willen eintreten.

Dass und wie wir dadurch zur Kenntniss der Wirklichkeit gelangen, habe ich anderwärts auseinandergesetzt[1]). Hier würde es zu weit in abstracteste Gedankenkreise führen; es genüge das Factum, dass auch die auf die Physiologie der Sinne gestützte Erkenntnisslehre den Menschen anweisen muss, zur That zu schreiten, um der Wirklichkeit sicher zu werden.

Erwähnen muss ich noch eine andere allegorische Figur Goethe's, nämlich den Erdgeist im Faust, auf den ich schon bei früherer Gelegenheit hingewiesen habe. Seine Worte, in denen er sein eigenes Wesen schildert, passen so vollständig auf eine andere neueste Conception der Naturwissenschaft, dass man sich schwer von dem Gedanken losreissen kann, sie sei gemeint. Der Geist sagt:

In Lebensfluthen, im Thatensturm
Wall' ich auf und ab,
Wehe hin und her!
Geburt und Grab,
Ein ewiges Meer,
Ein wechselnd Weben,
Ein glühend Leben,
So schaff' ich am sausenden Webstuhl der Zeit,
Und wirke der Gottheit lebendiges Kleid.

Nun wissen wir jetzt, dass der Welt ein unzerstörbarer und unvermehrbarer Vorrath von Energie oder wirkungsfähiger Triebkraft innewohnt, der in den mannigfachsten, immer wechselnden Formen erscheinen kann, bald als gehobenes Gewicht, bald im Schwunge bewegter Massen, bald als Wärme oder chemische Verwandtschaft u. s. w., der in diesem Wechsel das Wirkende in jeder Wirkung bildet sowohl im Reiche der lebenden Wesen, wie der leblosen Körper.

Die Keime zu dieser Einsicht in die Constanz des Werthes der Energie waren schon im vorigen Jahrhundert vorhanden, und

---

[1]) Siehe meine „Vorträge und Reden" Bd. II: „Die Thatsachen in der Wahrnehmung."

konnten Goethe wohl bekannt sein. Die Vergleichung mit gleichzeitigen Aufsätzen von ihm (die Natur 1780) legt vielleicht den Gedanken näher, dass der Erdgeist Vertreter des organischen Lebens auf der Erde sein solle, wozu freilich die Worte „Ein glühend Leben“ schlecht passen. Beide Auffassungen widersprechen sich nicht nothwendig, da sowohl Robert Mayer als ich selbst zu der Verallgemeinerung des Gesetzes von der Constanz der Energie gerade durch Betrachtungen über den allgemeinen Charakter der Lebensvorgänge geführt worden sind.

Freilich können wir den constanten Energievorrath jetzt nicht mehr auf die Erde beschränken, sondern müssten wenigstens die Sonne hinzunehmen. Indessen braucht eine Ahnung des Dichters nicht in allen Einzelheiten genau zu sein.

Als Schlussresultat dürfen wir wohl das Ergebniss unserer Betrachtungen dahin zusammenfassen: Wo es sich um Aufgaben handelt, die durch die in Anschauungsbildern sich ergehenden dichterischen Divinationen gelöst werden können, hat sich der Dichter der höchsten Leistungen fähig gezeigt; wo nur die bewusst durchgeführte inductive Methode hätte helfen können, ist er gescheitert. Aber wiederum, wo es sich um die höchsten Fragen über das Verhältniss der Vernunft zur Wirklichkeit handelt, schützt ihn sein gesundes Festhalten an der Wirklichkeit vor Irrgängen und leitet ihn sicher zu Einsichten, die bis an die Grenzen menschlicher Vernunft reichen.

Heinrich Hertz

Vorwort zu dessen Prinzipien der Mechanik
Berlin, Juli 1894

Am 1. Januar 1894 starb Heinrich Hertz. Für alle, die den Fortschritt der Menschheit in der möglichst breiten Entwickelung ihrer geistigen Fähigkeiten und in der Herrschaft des Geistes über die natürlichen Leidenschaften wie über die widerstrebenden Naturkräfte zu sehen gewohnt sind, war die Nachricht vom Tode dieses bevorzugten Lieblings des Genius eine tief erschütternde. Durch seltenste Gaben des Geistes und Charakters begünstigt, hat er in seinem leider so kurzen Leben eine Fülle fast unverhoffter Früchte geerntet, um deren Gewinnung sich während des vorausgehenden Jahrhunderts viele von den begabtesten seiner Fachgenossen vergebens bemüht haben. — In alter, klassischer Zeit würde man gesagt haben, er sei dem Neide der Götter zum Opfer gefallen. Hier schienen Natur und Schicksal in ganz ungewöhnlicher Weise die Entwickelung eines Menschengeistes begünstigt zu haben, der alle zur Lösung der schwierigsten Probleme der Wissenschaft erforderlichen Anlagen in sich vereinigte. Es war ein Geist, der ebenso der höchsten Schärfe und Klarheit des logischen Denkens fähig war, wie der grössten Aufmerksamkeit in der Beobachtung unscheinbarer Phänomene. Der uneingeweihte Beobachter geht an solchen leicht vorüber, ohne auf sie zu achten; dem schärferen Blicke aber zeigen sie den Weg an, durch den er in neue unbekannte Tiefen der Natur einzudringen vermag.

Heinrich Hertz schien prädestinirt zu sein, der Menschheit solche neue Einsicht in viele bisher verborgene Tiefen der Natur zu erschliessen, aber alle die Hoffnungen scheiterten an der tückischen Krankheit, die, langsam und unaufhaltsam vorwärts schleichend, dieses der Menschheit so kostbare Leben vernichtete und alle darauf gesetzten Hoffnungen grausam zerstörte.

Ich selbst habe diesen Schmerz tief empfunden, denn unter allen Schülern, die ich gehabt habe, durfte ich Hertz immer als denjenigen betrachten, der sich am tiefsten in meinen eigenen

Kreis von wissenschaftlichen Gedanken eingelebt hatte, und auf den ich die sichersten Hoffnungen für ihre weitere Entwickelung und Bereicherung glaubte setzen zu dürfen.

Heinrich Rudolf Hertz ward am 22. Februar 1857 in Hamburg als ältester Sohn des damaligen Rechtsanwalts, späteren Senators Dr. Hertz geboren. Nachdem er bis zu seiner Confirmation den Unterricht in einer der städtischen Bürgerschulen erhalten hatte, trat er nach einem Jahre häuslicher Vorbereitung für höher reichende Studien in die Gelehrtenschule seiner Vaterstadt, das Johanneum, ein und verliess dieselbe 1875 mit dem Zeugniss der Reife. Er gewann schon als Knabe die Anerkennung seiner Eltern und Lehrer wegen seines ungewöhnlich regen Pflichtgefühls. Die Art seiner Begabung zeigte sich schon früh dadurch, dass er aus eigenem Antriebe neben seinen Schulfächern mechanische Arbeiten an der Hobel- und Drehbank betrieb, daneben Sonntags die Gewerbeschule besuchte, um sich im geometrischen Zeichnen zu üben, und sich mit den einfachsten Hülfsmitteln brauchbare Instrumente optischer und mechanischer Art zu erbauen bestrebte.

Als er nach Beendigung seines Schulcursus sich zu der Wahl eines Berufs entschliessen musste, wählte er den des Ingenieurs. Es scheint, dass die auch in späteren Jahren als ein charakteristischer Grundzug seines Wesens hervortretende Bescheidenheit ihn an seiner Begabung für theoretische Wissenschaft zweifeln liess, und dass er sich bei der Beschäftigung mit seinen geliebten mechanischen Arbeiten des Erfolges sicherer fühlte, weil er deren Tragweite schon damals ausreichend verstand. Vielleicht hat ihn auch die in seiner Vaterstadt herrschende, mehr dem Praktischen zugeneigte Sinnesweise beeinflusst. Uebrigens beobachtet man nicht selten diese Art zaghafter Bescheidenheit gerade bei jungen Leuten von hervorragenden Anlagen. Sie haben wohl eine deutliche Vorstellung von den Schwierigkeiten, die vor der Erreichung des ihnen vorschwebenden hohen Zieles zu überwinden sind, und issen ihre Kräfte erst praktisch erprobt haben, ehe sie das zu em schweren Werke nöthige Selbstvertrauen gewinnen. Aber h in ihrer späteren Entwickelung pflegen reich veranlagte iren um so unzufriedener mit ihren eigenen Werken zu sein, je r ihre Fähigkeiten und ihre Ideale reichen. Die Begabtesten chen offenbar nur deshalb das Höchste, weil sie am empfindten gegen jede Unvollkommenheit sind, und am unermüdn an deren Beseitigung arbeiten.

Volle zwei Jahre dauerte bei Heinrich Hertz dieses Stadium des Zweifels. Dann entschloss er sich im Herbst 1877 zur akademischen Laufbahn, da er bei reifenden Kenntnissen sich innerlich überzeugte, dass er nur in wissenschaftlicher Arbeit dauernde Befriedigung finden würde. Der Herbst 1878 führte ihn nach Berlin, wo ich ihn zuerst als Praktikanten in dem von mir geleiteten physikalischen Laboratorium der Universität kennen lernte. Schon während er die elementaren Uebungsarbeiten durchführte, sah ich, dass ich es hier mit einem Schüler von ganz ungewöhnlicher Begabung zu thun hatte, und da mir am Ende des Sommersemesters die Aufgabe zufiel, das Thema zu einer physikalischen Preisarbeit für die Studirenden vorzuschlagen, wählte ich eine Frage aus der Elektrodynamik, in der sicheren, nachher auch bestätigten Voraussetzung, dass Hertz sich dafür interessiren und sie mit Erfolg angreifen werde.

Die Gesetze der Elektrodynamik wurden damals in Deutschland noch von der Mehrzahl der Physiker aus der Hypothese von W. Weber hergeleitet, welche die elektrischen und magnetischen Erscheinungen auf eine Modification der Newton'schen Annahme von unmittelbar und geradlinig in die Ferne wirkenden Kräften zurückzuführen suchte. Die Abnahme der betreffenden Kräfte in der Ferne sollte demselben Gesetze wie die von Newton angenommene Gravitationskraft und die von Coulomb zwischen je zwei elektrisirten Massenpunkten gemessene scheinbare Fernkraft folgen, es sollte nämlich die Intensität der Kraft dem Quadrate des Abstandes der auf einander wirkenden elektrischen Quanta umgekehrt, dem Producte der beiden Quanta aber direct proportional sein, und zwar mit abstossender Wirkung zwischen gleichnamigen, anziehender zwischen ungleichnamigen Mengen. Uebrigens wurde in Weber's Hypothese die Ausbreitung dieser Kraft durch den unendlichen Raum als augenblicklich und mit unendlicher Geschwindigkeit erfolgend vorausgesetzt. Der einzige Unterschied zwischen W. Weber's Annahme und der von Coulomb bestand darin, dass Weber voraussetzte, auch die Geschwindigkeit, mit der sich die beiden elektrischen Quanta einander näherten oder von einander entfernten, und auch die Beschleunigungen dieser Geschwindigkeiten könnten einen Einfluss auf die Grösse der Kraft zwischen den beiden elektrischen Mengen haben. Neben dieser Weber'schen Hypothese bestanden noch eine Reihe ähnlicher anderer, die alle das Gemeinsame hatten, dass sie die Grösse der Coulomb'schen Kraft noch durch

den Einfluss irgend einer Componente der Geschwindigkeit der bewegten elektrischen Quanta modificirt ansahen. Solche Hypothesen waren von F. E. Neumann, von dessen Sohne C. Neumann, von Riemann, Grossmann, später von Clausius aufgestellt worden. Magnetisirte Molekeln galten als Achsen elektrischer Kreisströme, nach einer schon von Ampère aufgefundenen Analogie ihrer nach aussen gerichteten Wirkungen.

Diese bunte Blumenlese von Annahmen war in ihren Folgerungen sehr wenig übersichtlich und erforderte zu ihrer Ableitung verwickelte Rechnungen, Zerlegungen der Einzelkräfte in ihre verschieden gerichteten Componenten u. s. w. So war das Gebiet der Elektrodynamik um jene Zeit zu einer unwegsamen Wüste geworden. Beobachtete Thatsachen und Folgerungen aus höchst zweifelhaften Theorien liefen ohne sichere Grenze durcheinander. In dem Streben, dieses Wirrsal übersehen zu lernen, hatte ich es übernommen, das Gebiet der Elektrodynamik, so weit ich sah, zu klären, und die unterscheidenden Folgerungen der verschiedenen Theorien aufzusuchen, um wo möglich durch passend angestellte Versuche zwischen ihnen zu entscheiden.

Es ergab sich daraus folgendes allgemeine Resultat: Alle Erscheinungen, die vollkommen geschlossene Ströme bei ihrer Circulation durch in sich zurücklaufende metallische Leitungskreise hervorrufen und die die gemeinsame Eigenthümlichkeit haben, dass es, während sie fliessen, zu keiner erheblichen Veränderung der in einzelnen Theilen des Leiters angesammelten elektrischen Ladungen kommt, liessen sich aus allen den genannten Hypothesen gleich gut ableiten. Ihre Folgerungen stimmten sowohl mit Ampère's Gesetzen der elektromagnetischen Wirkungen, wie mit den von Faraday und Lenz entdeckten und von F. E. Neumann verallgemeinerten Gesetzen der inducirten elektrischen Ströme wohl überein. In unvollständig geschlossenen leitenden Kreisen dagegen führten die verschiedenen oben genannten Hypothesen zu wesentlich verschiedenen Folgerungen. Die erwähnte gute Uebereinstimmung aller der verschiedenen damaligen Theorien mit den an vollständig geschlossenen Strömungen beobachteten Thatsachen erklärt sich leicht daraus, dass man geschlossene Ströme beliebig lange Zeit und in beliebiger Stärke unterhalten kann, jedenfalls lange genug, dass die von ihnen ausgeübten Kräfte volle Zeit haben, ihre Wirkungen sichtbar zu entfalten, dass deshalb die thatsächlichen Wirkungen solcher Ströme und ihre Gesetze wohlbekannt und genau ermittelt

waren. Daher würde jede Abweichung einer neu aufgestellten Theorie von irgend einer der bekannten Thatsachen dieses wohl durchgearbeiteten Gebietes schnell aufgefallen und zur Widerlegung der Theorie benutzt worden sein.

Dagegen sammeln sich an den offenen Enden ungeschlossener Leiter, wo sich isolirende Massen zwischen diese Enden einschieben, durch jede elektrische Bewegung längs der Länge des Leiters sogleich elektrische Ladungen an, herrührend von der gegen das Ende des Leiters hindrängenden Elektricität, die ihren Weg durch den Isolator nicht fortsetzen kann. Eine ausserordentlich kurze Dauer der Strömung genügt in einem solchen Falle, um die abstossende Kraft der am Ende angehäuften Elektricität gegen die gleichnamige nachdrängende so hoch zu steigern, dass diese in ihrer Bewegung vollständig gehemmt wird, wonach zunächst das weitere Zuströmen aufhört und nach momentaner Ruhe dann ein schnelles Zurückdrängen der angesammelten Elektricität folgt.

Es war für jeden Kenner der thatsächlichen Verhältnisse zu jener Zeit klar, dass sich das vollkommene Verständniss der Theorie der elektromagnetischen Erscheinungen nur durch die genaue Untersuchung der Vorgänge bei diesen sehr schnell vorübergehenden ungeschlossenen Strömen werde gewinnen lassen. W. Weber hatte versucht, gewisse Schwierigkeiten seiner elektrodynamischen Hypothese zu beseitigen oder zu vermindern dadurch, dass er sich auf die Möglichkeit berufen, die Elektricität könne einen gewissen Grad von Beharrungsvermögen haben, wie es den schweren Körpern zukomme. Scheinbar zeigen bei Schliessung und Unterbrechung jedes Stromes sich Wirkungen, die den Anschein eines Beharrungsvermögens der Elektricität vortäuschen. Diese rühren aber von der sogenannten elektrodynamischen Induction, d. h. von einer gegenseitigen Einwirkung nahe gelegener Stromleiter auf einander, her und sind in ihren Gesetzen seit Faraday wohlbekannt. Wahres Beharrungsvermögen müsste nur der Masse der bewegten Elektricität proportional sein, ohne von der Lage des Leiters abzuhängen. Wenn etwas derart existirte, müsste es sich durch eine Verlangsamung der oscillirenden Bewegungen der Elektricität zu erkennen geben, wie sie nach jähen Unterbrechungen elektrischer Ströme in gut leitenden Drähten sich zeigen. Auf diesem Wege liess sich die Bestimmung einer oberen Grenze für den Werth dieses Beharrungsvermögens erwarten, und deshalb stellte ich die Aufgabe, über

die Grösse von Extraströmen Versuche auszuführen. Aus diesen sollte wenigstens eine obere Grenze für die bewegte Masse festgestellt werden. Es waren schon in der Aufgabe, als zu diesen Versuchen besonders geeignet erscheinend, Extraströme aus doppeltdrähtigen Spiralen vorgeschlagen, deren Zweige in entgegengesetzter Richtung durchflossen wären. In der Lösung dieser Aufgabe bestand die erste grössere Arbeit von Heinrich Hertz. Er giebt darin eine präcise Antwort auf die gestellte Frage und zeigt, dass höchstens $^1/_{20}$ bis $^1/_{30}$ des Extrastromes aus einer doppeltdrähtigen Spirale der Wirkung einer Trägheit der Elektricität zuzuschreiben sei. Diese Arbeit wurde mit dem Preise gekrönt.

Aber Hertz beschränkte sich nicht auf die vorgeschlagenen Versuche. Er erkannte nämlich, dass bei geradlinig ausgespannten Drähten die Inductionswirkungen, trotz ihrer sehr viel geringeren Stärke, viel genauer zu berechnen waren, als bei Spiralen mit vielen Windungen, weil er hier die Lagerungsverhältnisse nicht genau abmessen konnte. Daher benutzte er zu weiteren Versuchen eine Leitung aus zwei Rechtecken von geraden Drähten und fand hier, dass der von dem Beharrungsvermögen herrührende Extrastrom höchstens $^1/_{250}$ von dem Werthe des Inductionsstromes betrage.

Untersuchungen über den Einfluss der Centrifugalkraft in einer schnell rotirenden Platte auf die Bewegung eines sie durchfliessenden elektrischen Stromes führten ihn zu einer noch viel tiefer liegenden oberen Grenze des Beharrungsvermögens der Elektricität.

Diese Versuche haben ihm offenbar die ungeheure Beweglichkeit der Elektricität eindringlich zur Anschauung gebracht und ihm geholfen, die Wege zu finden, um seine wichtigsten Entdeckungen zu machen.

In England waren durch Faraday ganz andere Vorstellungen über das Wesen der Elektricität verbreitet. Seine in schwer verständlicher abstracter Sprache vorgetragenen Ideen brachen sich nur langsam Bahn, bis sie in Clerk Maxwell einen berufenen Interpreten fanden. Faraday's Hauptbestreben bei der Erklärung der elektrischen Erscheinungen ging dahin, alle Voraussetzungen, bestehend in Annahmen von nicht direct wahrnehmbaren Vorgängen oder Substanzen, auszuschliessen. Vor allem wies er, wie es einst zu Anfang seiner Laufbahn schon Newton gethan, die Hypothese von der Existenz der Fernkräfte

zurück. Es schien ihm undenkbar, wie die älteren Theorien annahmen, dass directe und unmittelbare Wirkungen zwischen zwei räumlich getrennten Körpern bestehen sollten, ohne dass in den zwischenliegenden Medien irgend eine Veränderung vor sich gehe. Daher suchte er zunächst nach Spuren von Veränderungen in Medien, welche zwischen elektrisirten oder zwischen magnetischen Körpern lagen. Es gelang ihm der Nachweis von Magnetismus oder Diamagnetismus bei fast allen bisher für unmagnetisch geltenden Körpern. Ebenso wies er nach, dass unter der Einwirkung elektrischer Kräfte gut isolirende Körper eine Veränderung erlitten; diese bezeichnete er als „dielektrische Polarisation der Isolatoren“.

Es liess sich nicht verkennen, dass die Anziehung zwischen zwei mit Elektricität beladenen Leitern oder zwischen zwei entgegengesetzten Magnetpolen in Richtung ihrer Kraftlinien sich wesentlich verstärken musste, wenn man dielektrisch oder magnetisch polarisirte Medien zwischen sie einschaltete. Quer gegen die Kraftlinien musste dagegen eine Abstossung entstehen. Nach diesen Entdeckungen konnte nicht mehr geleugnet werden, dass ein Theil der magnetischen und elektrischen Fernwirkung durch Vermittelung der zwischenliegenden polarisirten Medien zu Stande käme, ein anderer konnte freilich immerhin noch übrig bleiben, der einer directen Fernkraft angehörte.

Faraday und Maxwell neigten sich der einfacheren Annahme zu, dass überhaupt Fernkräfte nicht existirten, und Maxwell entwickelte die mathematische Fassung dieser Hypothese, welche allerdings eine vollständige Umkehr der bisherigen Anschauungen verlangte. Danach musste der Sitz der Veränderungen, welche die elektrischen Erscheinungen hervorbringen, nur noch in den Isolatoren gesucht werden, Entstehen und Vergehen der Polarisationen in den Isolatoren musste der Grund der scheinbar in den Leitern stattfindenden elektrischen Bewegungen sein. Ungeschlossene Ströme gab es nicht mehr, denn die Anhäufung elektrischer Ladungen an den Enden der Leitung und die dabei in den sie trennenden Isolatoren auftretende dielektrische Polarisation stellte eine äquivalente elektrische Bewegung in den zwischenliegenden Isolatoren dar, die die Lücke des Stromes zu ergänzen geeignet schien.

Schon Faraday hatte mit seiner sehr sicheren und tiefgehenden inneren Anschauung geometrischer und mechanischer Fragen erkannt, dass die Vertheilung der elektrischen Fernwirkungen

im Raume nach diesen Annahmen genau mit der durch die alte Theorie gefundenen stimmen musste.

Maxwell bestätigte und erweiterte dies mit den Hülfsmitteln der mathematischen Analysis zu einer vollständigen Theorie der Elektrodynamik. Ich selbst erkannte sehr wohl das Zwingende in den von Faraday gefundenen Thatsachen und untersuchte zunächst die Frage, ob Fernwirkungen überhaupt existirten und in Betracht gezogen werden müssten. Der Zweifel schien mir zunächst in einem so verwickelten Gebiete der wissenschaftlichen Vorsicht gemäss zu sein und konnte zu entscheidenden Versuchen hinleiten.

Das war der Stand der Frage, als Heinrich Hertz nach Beendigung seiner vorgenannten Preisarbeit in die Untersuchung eintrat.

Nach Maxwell's Auffassung war es wesentlich entscheidend für seine Theorie, ob das Entstehen und Vergehen dielektrischer Polarisation in einem Isolator dieselben elektrodynamischen Wirkungen in der Umgebung hervorbringt, wie ein galvanischer Strom in einem Leiter. Diesen Nachweis zu erbringen, erschien mir als eine ausführbare und hinreichend wichtige Arbeit, um sie zum Gegenstand einer der grossen Preisaufgaben der Berliner Akademie zu machen.

Wie sich, an diese von den Zeitgenossen vorbereiteten Keime anknüpfend, die Entdeckungen von Hertz weiter entwickelten, hat er selbst in der Einleitung seines interessanten Buches: Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft, so anschaulich und interessant entwickelt, dass kein Anderer dazu etwas Wesentliches oder gar Besseres hinzufügen könnte. Dieser Bericht ist als eine höchst aufrichtige und eingehende Darstellung einer der wichtigsten und folgenreichsten Entdeckungen von hervorragendem Werthe. Leider besitzen wir nicht viel ähnliche Acten über die innere psychologische Geschichte der Wissenschaft, und wir sind dem Verfasser auch dafür den grössten Dank schuldig, dass er uns so tief in das Innere seiner Gedankenwerkstatt und selbst in die Geschichte seiner zeitweiligen Irrthümer hat schauen lassen.

Nur über die Folgen dieser neuen Entdeckungen wäre noch Einiges hinzuzufügen.

Die Ansichten, deren Richtigkeit Hertz später bestätigt hat, waren allerdings, wie oben bemerkt, vor ihm durch Faraday und Maxwell als möglich oder selbst als höchst wahrscheinlich

schon aufgestellt, aber die thatsächlichen Beweise ihrer Richtigkeit fehlten noch. Hertz hat nun in der That diese Beweise geliefert. Nur einem ungewöhnlich aufmerksamen Beobachter, der die Tragweite jener unvermutheten und bis dahin unbeachteten Erscheinung sogleich durchschaut, konnten die höchst unscheinbaren Phänomene auffallen, die ihn auf den richtigen Weg geleitet haben. Es wäre eine hoffnungslose Aufgabe gewesen, schnell wechselnde Ströme mit einer Dauer von Zehntausendtheilen oder gar nur Milliontheilen einer Secunde am Galvanometer oder mittelst irgend einer anderen damals geübten experimentellen Methode sichtbar zu machen. Denn alle endlichen Kräfte brauchen eine gewisse Zeit zur Hervorbringung endlicher Geschwindigkeiten und zur Verschiebung von Körpern von irgend welchem Gewicht, auch so geringem, wie es die Magnetnadeln unserer Galvanometer zu haben pflegen. Aber elektrische Funken können zwischen den Enden einer Leitung sichtbar werden, wenn auch nur für eine Milliontel Secunde die elektrische Spannung an den Enden einer solchen Leitung hoch genug gesteigert wird, dass der Funke eine winzige Luftschicht durchbrechen kann. Hertz war durch seine früheren Untersuchungen schon wohlbekannt mit der Regelmässigkeit und enormen Geschwindigkeit dieser sehr schnellen Oscillationen der Elektricität, und seine Versuche, auf diesem Wege die flüchtigsten elektrischen Bewegungen zu entdecken und sichtbar zu machen, gelangen ihm verhältnissmässig schnell. Er fand sehr bald die Bedingungen, unter denen er die Oscillationen ungeschlossener Leitungen in solcher Regelmässigkeit erzielen konnte, dass er ihre Abhängigkeit von den verschiedensten Nebenumständen ermitteln und dadurch die Gesetze ihres Auftretens und sogar den Werth ihrer Wellenlänge in der Luft und ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit feststellen konnte. Bei dieser ganzen Untersuchung muss man immer wieder den Scharfsinn seiner Ueberlegungen und sein experimentelles Geschick bewundern, die sich in der glücklichsten Weise ergänzten.

Hertz hat durch diese Arbeiten der Physik neue Anschauungen natürlicher Vorgänge von dem grössten Interesse gegeben. Es kann nicht mehr zweifelhaft sein, dass die Lichtschwingungen elektrische Schwingungen in dem den Weltraum füllenden Aether sind, dass dieser selbst die Eigenschaften eines Isolators und eines magnetisirbaren Medium hat. Die elektrischen Oscillationen im Aether bilden eine Zwischenstufe zwischen den

verhältnissmässig langsamen Bewegungen, welche etwa durch elastisch tönende Schwingungen magnetisirter Stimmgabeln dargestellt werden, und den ungeheuer schnellen Schwingungen des Lichts andererseits; aber es lässt sich nachweisen, dass ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit, ihre Natur als Transversalschwingungen, die damit zusammenhängende Möglichkeit der Polarisationserscheinungen, der Brechung und Reflexion vollständig denselben Verhältnissen entsprechen wie bei dem Lichte und bei den Wärmestrahlen. Nur fehlt den elektrischen Wellen die Fähigkeit, das Auge zu afficiren, wie diese auch den dunklen Wärmestrahlen fehlt, deren Schwingungszahl dazu nicht gross genug ist.

Es ist gewiss eine grosse Errungenschaft, die vollständigen Beweise dafür geliefert zu haben, dass das Licht, eine so einflussreiche und so geheimnissvolle Naturkraft, einer zweiten ebenso geheimnissvollen, und vielleicht noch beziehungsreicheren Kraft, der Elektricität, auf das engste verwandt ist. Für die theoretische Wissenschaft ist es vielleicht noch wichtiger, verstehen zu können, wie anscheinende Fernkräfte durch Uebertragung der Wirkung von einer Schicht des zwischenliegenden Medium zur nächsten fortgeleitet werden. Freilich bleibt noch das Räthsel der Gravitation stehen, die wir noch nicht folgerichtig anders, denn als eine reine Fernkraft zu erklären wissen.

Heinrich Hertz hat sich durch seine Entdeckungen einen bleibenden Ruhm in der Wissenschaft gesichert. Sein Andenken wird aber nicht nur durch seine Arbeiten fortleben, auch seine liebenswürdigen Charaktereigenschaften, seine sich immer gleichbleibende Bescheidenheit, die freudige Anerkennung fremden Verdienstes, die treue Dankbarkeit, die er seinen Lehrern bewahrte, wird Allen, die ihn kannten, unvergesslich sein. Ihm selbst war es nur um die Wahrheit zu thun, die er mit äusserstem Ernst und mit aller Anstrengung verfolgte; nie machte sich die geringste Spur von Ruhmsucht oder persönlichem Interesse bei ihm geltend. Auch da, wo er einiges Recht gehabt hätte, Entdeckungen für sich in Anspruch zu nehmen, war er eher geneigt, stillschweigend zurückzutreten. Im Ganzen still und schweigsam, konnte er doch heiter an fröhlichem Freundeskreise theilnehmen und die Unterhaltung durch manches treffende Wort beleben. Er hat wohl nie einen persönlichen Gegner gehabt, obgleich er gelegentlich über nachlässig gemachte oder renommistisch auftretende Bestrebungen, die sich für Wissenschaft ausgaben, ein scharfes Urtheil fällen konnte. Sein äusserer Lebensgang verlief

folgendermaassen: Im Jahre 1880 trat er als Assistent im Physikalischen Laboratorium der Berliner Universität ein; 1883 veranlasste ihn das preussische Cultusministerium, sich in Kiel mit Aussicht auf baldige Beförderung zu habilitiren. Zu Ostern 1885 wurde er als ordentlicher Professor der Physik an die technische Hochschule zu Karlsruhe berufen. Hier machte er seine hauptsächlichsten Entdeckungen, und hier verheirathete er sich mit Fräulein Elisabeth Doll, der Tochter eines Collegen. Schon nach zwei Jahren erhielt er einen Ruf als Ordinarius der Physik an die Universität Bonn, dem er zu Ostern 1889 folgte.

In den nun folgenden leider so kurz bemessenen Jahren seines Lebens brachten ihm seine Zeitgenossen alle äusseren Zeichen der Ehre und Anerkennung entgegen. Im Jahre 1888 wurde ihm die Matteucci-Medaille von der italienischen Gesellschaft der Wissenschaften, 1889 von der Academie des Sciences in Paris der Preis La Caze und von der K. K. Akademie zu Wien der Baumgartner-Preis, 1890 die Rumford-Medaille von der Royal Society in London, 1891 der Bressa-Preis von der Königlichen Akademie in Turin verliehen.

Die Akademien von Berlin, München, Wien, Göttingen, Rom, Turin und Bologna, sowie viele andere gelehrte Gesellschaften wählten ihn zum correspondirenden Mitglied, und die preussische Regierung verlieh ihm den Kronenorden.

Er sollte sich seines steigenden Ruhmes nicht lange erfreuen. Eine qualvolle Knochenkrankheit fing an sich zu entwickeln; im November 1892 schon trat das Uebel drohend auf. Eine damals ausgeführte Operation schien das Leiden für kurze Zeit zurückzudrängen. Hertz konnte seine Vorlesungen, wenn auch mit grosser Anstrengung, bis zum 7. December 1893 fortsetzen; am 1. Januar 1894 erlöste ihn der Tod von seinen Leiden.

Wie sehr das Nachsinnen von Hertz auf die allgemeinsten Gesichtspunkte der Wissenschaft gerichtet war, zeigt auch wieder das letzte Denkmal seiner irdischen Thätigkeit, das vorliegende Buch über die Principien der Mechanik.

Er hat versucht, darin eine consequent durchgeführte Darstellung eines vollständig in sich zusammenhängenden Systems der Mechanik zu geben und alle einzelnen besonderen Gesetze dieser Wissenschaft aus einem einzigen Grundgesetz abzuleiten, welches logisch genommen natürlich nur als eine plausible Annahme betrachtet werden kann. Er ist dabei zu den ältesten theoretischen Anschauungen zurückgekehrt, die man eben des-

.men Grundlage nicht abzuleiten. Hertz hat sich für die Mechanik eine solche Grundanschauung zu e fähig wäre, eine vollkommene folgerichtige Ab- bisher als allgemeingültig anerkannten Gesetze der ı Vorgänge zu geben, und er hat das mit grossem ınd unter einer sehr bewundernswürdigen Bildung h verallgemeinerter kinematischer Begriffe durch- ls einzigen Ausgangspunkt hat er die Anschauung ı mechanischen Theorien gewählt, nämlich die Vor- ss alle mechanischen Prozesse so vor sich gehen, als rbindungen zwischen den auf einander wirkenden e wären. Freilich muss er die Hypothese hinzunehmen, grosse Anzahl unwahrnehmbarer Massen und unsicht- gungen derselben gebe, um dadurch die Existenz der chen den nicht in unmittelbarer Berührung mit ein- dlichen Körpern zu erklären. Einzelne Beispiele, die önnten, wie er sich solche hypothetischen Zwischen- hte, hat er aber leider nicht mehr gegeben, und es ır noch ein grosses Aufgebot wissenschaftlicher Ein- ft dazu gehören, um auch nur die einfachsten Fälle ıer Kräfte danach zu erklären. Er scheint hierbei ch auf die Zwischenschaltung cyklischer Systeme mit n Bewegungen Hoffnung gesetzt zu haben.

he Physiker, wie Lord Kelvin in seiner Theorie atome, und Maxwell in seiner Annahme eines n Zellen mit rotirendem Inhalt, die er seinem Ver- mechanischen Erklärung der elektromagnetischen zu Grunde gelegt hat, haben sich offenbar durch klärungen besser befriedigt gefühlt, als durch die meinste Darstellung der Thatsachen und ihrer Ge- ie durch die Systeme der Differentialgleichungen der ben wird. Ich muss gestehen, dass ich selbst bisher tzteren Art der Darstellung festgehalten, und mich ı besten gesichert fühlte; doch möchte ich gegen den so hervorragende Physiker, wie die drei ge- ıgeschlagen haben, keine principiellen Einwendungen

ı werden noch grosse Schwierigkeiten zu überwinden em Bestreben, aus den von Hertz entwickelten Erklärungen für die einzelnen Abschnitte der geben. Im ganzen Zusammenhange aber ist die

halb auch wohl als die einfachsten und natürlichsten ansehen darf, und stellt die Frage, ob diese nicht ausreichen würden, alle die neuerdings abgeleiteten allgemeinen Principien der Mechanik consequent und in strengen Beweisen herleiten zu können, auch wo sie bisher nur als inductive Verallgemeinerungen aufgetreten sind.

Die erste Entwickelung der wissenschaftlichen Mechanik knüpfte sich an die Untersuchungen des Gleichgewichts und der Bewegung fester Körper, die mit einander in unmittelbarer Berührung stehen, wofür die einfachen Maschinen, Hebel, Rollen, schiefe Ebenen, Flaschenzüge die erläuternden Beispiele gaben. Das Gesetz von den virtuellen Geschwindigkeiten ist die ursprünglichste, allgemeine Lösung aller dahin gehörigen Aufgaben. Später entwickelte Galilei die Kenntniss der Trägheit und der Bewegungskraft als einer beschleunigenden Kraft, die freilich von ihm noch dargestellt wird als eine Reihe von Stössen. Erst Newton kam zum Begriff der Fernkraft und ihrer näheren Bestimmung durch das Princip der gleichen Action und Reaction. Es ist bekannt, wie sehr anfangs ihm selbst und seinen Zeitgenossen der Begriff unvermittelter Fernwirkung widerstrebte.

Von da ab entwickelte sich die Mechanik weiter unter Benutzung von Newton's Begriff und Definition der Kraft, und man lernte allmählich auch die Probleme behandeln, in denen sich conservative Fernkräfte mit dem Einfluss fester Verbindungen combiniren, deren allgemeinste Lösung in d'Alembert's Princip gegeben ist. Die allgemeinen principiellen Sätze der Mechanik (Gesetz von der Bewegung des Schwerpunkts, der Flächensatz für rotirende Systeme, das Princip von der Erhaltung der lebendigen Kräfte, das Princip der kleinsten Action) haben sich alle entwickelt unter der Voraussetzung von Newton's Attributen der constanten, also auch conservativen Anziehungskräfte zwischen materiellen Punkten und der Existenz fester Verbindungen zwischen denselben. Sie sind ursprünglich nur unter der Annahme solcher gefunden und bewiesen worden. Man hat dann später durch Beobachtung gefunden, dass die so hergeleiteten Sätze eine viel allgemeinere Geltung in der Natur in Anspruch nehmen durften, als aus ihrem Beweise folgte, und hat demnächst gefolgert, dass gewisse allgemeinere Charaktere der Newton'schen conservativen Anziehungskräfte allen Naturkräften zukommen, vermochte aber diese Verallgemeinerung aus

einer gemeinsamen Grundlage nicht abzuleiten. Hertz hat sich nun bestrebt, für die Mechanik eine solche Grundanschauung zu finden, welche fähig wäre, eine vollkommene folgerichtige Ableitung aller bisher als allgemeingültig anerkannten Gesetze der mechanischen Vorgänge zu geben, und er hat das mit grossem Scharfsinn und unter einer sehr bewundernswürdigen Bildung eigenthümlich verallgemeinerter kinematischer Begriffe durchgeführt. Als einzigen Ausgangspunkt hat er die Anschauung der ältesten mechanischen Theorien gewählt, nämlich die Vorstellung, dass alle mechanischen Prozesse so vor sich gehen, als ob alle Verbindungen zwischen den auf einander wirkenden Theilen feste wären. Freilich muss er die Hypothese hinzunehmen, dass es eine grosse Anzahl unwahrnehmbarer Massen und unsichtbarer Bewegungen derselben gebe, um dadurch die Existenz der Kräfte zwischen den nicht in unmittelbarer Berührung mit einander befindlichen Körpern zu erklären. Einzelne Beispiele, die erläutern könnten, wie er sich solche hypothetischen Zwischenglieder dachte, hat er aber leider nicht mehr gegeben, und es wird offenbar noch ein grosses Aufgebot wissenschaftlicher Einbildungskraft dazu gehören, um auch nur die einfachsten Fälle physikalischer Kräfte danach zu erklären. Er scheint hierbei hauptsächlich auf die Zwischenschaltung cyklischer Systeme mit unsichtbaren Bewegungen Hoffnung gesetzt zu haben.

Englische Physiker, wie Lord Kelvin in seiner Theorie der Wirbelatome, und Maxwell in seiner Annahme eines Systems von Zellen mit rotirendem Inhalt, die er seinem Versuch einer mechanischen Erklärung der elektromagnetischen Vorgänge zu Grunde gelegt hat, haben sich offenbar durch ähnliche Erklärungen besser befriedigt gefühlt, als durch die blosse allgemeinste Darstellung der Thatsachen und ihrer Gesetze, wie sie durch die Systeme der Differentialgleichungen der Physik gegeben wird. Ich muss gestehen, dass ich selbst bisher an dieser letzteren Art der Darstellung festgehalten, und mich dadurch am besten gesichert fühlte; doch möchte ich gegen den Weg, den so hervorragende Physiker, wie die drei genannten, eingeschlagen haben, keine principiellen Einwendungen erheben.

Freilich werden noch grosse Schwierigkeiten zu überwinden sein bei dem Bestreben, aus den von Hertz entwickelten Grundlagen Erklärungen für die einzelnen Abschnitte der Physik zu geben. Im ganzen Zusammenhange aber ist die

Darstellung der Grundgesetze der Mechanik von Hertz ein Buch, welches im höchsten Grade jeden Leser interessiren muss, der an einem folgerichtigen System der Dynamik, dargelegt in höchst vollendeter und geistreicher mathematischer Fassung, Freude hat. Möglicherweise wird dieses Buch in der Zukunft noch von hohem heuristischem Werth sein als Leitfaden zur Entdeckung neuer allgemeiner Charaktere der Naturkräfte.

Anhang zum zweiten Bande.

Zusatz zu dem Vortrag

„Ueber den Ursprung und die Bedeutung der geometrischen Axiome".

Mathematische Erläuterungen.

Die Grundzüge der Geometrie der sphärischen Räume von drei Dimensionen erhält man am leichtesten, wenn man für den Raum von vier Dimensionen die der Kugel entsprechende Gleichung aufstellt:

$$x^2 + y^2 + z^2 + t^2 = R^2 \quad \ldots\ldots \quad 1)$$

und für die Entfernung ds zwischen den Punkten $[x, y, z, t]$ und $[(x + dx), (y + dy), (z + dz), (t + dt)]$ den Werth

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 + dt^2 \quad \ldots\ldots \quad 2)$$

Man überzeugt sich leicht mittelst derselben Methoden, welche man für drei Dimensionen anwendet, dass kürzeste Linien gegeben sind durch Gleichungen von der Form

$$\left.\begin{array}{l} ax + by + cz + ft = 0 \\ \alpha x + \beta y + \gamma z + \varphi t = 0 \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots \quad 3)$$

wo a, b, c, f ebenso wie $\alpha, \beta, \gamma, \varphi$ Constanten sind.

Die Länge des kürzesten Bogens s zwischen den Punkten (x, y, z, t) und (ξ, η, ζ, τ) ergiebt sich, wie auf der Kugel, durch die Gleichung

$$\cos\left(\frac{s}{R}\right) = \frac{x\xi + y\eta + z\zeta + t\tau}{R^2} \quad \ldots\ldots \quad 4)$$

Aus den in 2) bis 4) gegebenen Werthen ist eine der Coordinaten durch die Gleichung 1) zu eliminiren, dann beziehen sich die Ausdrücke auf einen sphärischen Raum von drei Dimensionen.

Nimmt man die Entfernungen von dem Punkte

$$\xi = \eta = \zeta = 0.$$

woraus wegen der Gleichung 1) folgt $\tau = R$, so wird

$$sin\left(\frac{s_0}{R}\right) = \frac{\sigma}{R},$$

worin

$$\sigma = \sqrt{x^2 - y^2 - z^2}$$

oder

$$s_0 = R \,.\, arc.\, sin.\left(\frac{\sigma}{R}\right) = R \,.\, arc.\, tang.\left(\frac{\sigma}{t}\right) \quad . \quad . \quad 5)$$

Hierin bezeichnet s_0 die vom Anfangspunkt der Coordinaten ab gemessene Entfernung des Punktes x, y, z.

Wenn wir nun den Punkt x, y, z des sphärischen Raumes uns abgebildet denken in dem Punkte eines ebenen Raumes, dessen Coordinaten beziehlich sind

$$\mathfrak{x} = \frac{Rx}{t}, \quad \mathfrak{y} = \frac{Ry}{t}, \quad \mathfrak{z} = \frac{Rz}{t},$$

$$\mathfrak{x}^2 + \mathfrak{y}^2 + \mathfrak{z}^2 = \mathfrak{r}^2 = \frac{R^2\,\sigma^2}{t^2},$$

so sind in diesem ebenen Raume die Gleichungen 3), welche kürzesten Linien des sphärischen Raumes angehören, Gleichungen gerader Linien. Es sind also die kürzesten Linien des sphärischen Raumes in dem System der $\mathfrak{x}$, $\mathfrak{y}$, $\mathfrak{z}$ durch gerade Linien abgebildet. Für sehr kleine Werthe von x, y, z wird $t = R$ und

$$\mathfrak{x} = x, \quad \mathfrak{y} = y, \quad \mathfrak{z} = z.$$

Unmittelbar um den Anfangspunkt der Coordinaten also fallen die Abmessungen beider Räume zusammen. Andererseits ergiebt sich für die Abstände vom Mittelpunkt

$$s_0 = R \,.\, arc.\, tang.\left(\pm\frac{\mathfrak{r}}{R}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 6)$$

Es kann hierin $\mathfrak{r}$ unendlich werden, aber jeder Punkt des ebenen Raumes muss zwei Punkte der Kugel abbilden, einen, für den $s_0 < {}^1/_2\, R\pi$ ist, und einen, für den $s_0 > {}^1/_2\, R\pi$ ist. Die Dehnung in Richtung des $\mathfrak{r}$ ist dabei

$$\frac{d s_0}{d\mathfrak{r}} = \frac{R^2}{R^2 + \mathfrak{r}^2}.$$

———————

Um die entsprechenden Ausdrücke für den pseudosphärischen Raum zu erhalten, setze man R und t imaginär, nämlich $R = \mathfrak{R} i$ und $t = \mathfrak{t} i$. Dann ergiebt Gleichung 6)

$$tang. \frac{s_0}{i\mathfrak{R}} = \pm \frac{\mathfrak{r}}{i\mathfrak{R}},$$

was nach Beseitigung der imaginären Form ergiebt

$$s_0 = \tfrac{1}{2} \mathfrak{R} \; log. \; nat. \left(\frac{\mathfrak{R} + \mathfrak{r}}{\mathfrak{R} - \mathfrak{r}}\right).$$

Hierin hat s_0 reelle Werthe nur so lange, als $\mathfrak{r} < \mathfrak{R}$, für $\mathfrak{r} = \mathfrak{R}$ wird die Entfernung s_0 im pseudosphärischen Raume unendlich gross. Das Bild im ebenen Raume ist dagegen nur in der Kugel vom Radius $\mathfrak{R}$ enthalten, und jeder Punkt dieser Kugel bildet nur einen Punkt des unendlichen pseudosphärischen Raumes ab. Die Dehnung in Richtung der $\mathfrak{r}$ ist

$$\frac{d s_0}{d \mathfrak{r}} = \frac{\mathfrak{R}^2}{\mathfrak{R}^2 - \mathfrak{r}^2}.$$

Für Linienelemente dagegen, deren Richtung senkrecht zu $\mathfrak{r}$ ist, für welche also t unverändert bleibt, wird in beiden Fällen

$$\frac{\sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}}{\sqrt{d\mathfrak{x}^2 + d\mathfrak{y}^2 + d\mathfrak{z}^2}} = \frac{t}{R} = \frac{\mathfrak{t}}{\mathfrak{R}} = \frac{\sigma}{\mathfrak{r}}$$

$$= \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{\sqrt{\mathfrak{x}^2 + \mathfrak{y}^2 + \mathfrak{z}^2}}.$$

Anhang zu dem Vortrag

„Das Denken in der Medicin“.

Der Text der ersten Ausgabe enthielt nur die Worte[1]): „Hier ist schon die Frage angesponnen, die später von ärztlicher Seite zur Aufstellung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft führte.“

Dazu hat Robert Mayer in den von Dr. Fr. Betz herausgegebenen Memorabilien, Monatshefte für rationelle praktische Aerzte. Jahrg. XXII, S. 524, die Bemerkung gemacht: „So viel mir aber bekannt, so wurde das Princip oder Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft zuerst von dem grossen holländischen Mechaniker Huyghens, einem Zeitgenossen Newton's, also schon vor etwa zwei Jahrhunderten, aufgefunden und dann später namentlich von Leibnitz gegen Descartes in Schutz genommen. Dieses Gesetz ist also schon viel früher bekannt, als die in unsere Zeit fallende Entdeckung des mechanischen Wärme-Aequivalents mit seinen Beziehungen zur Medicin.“

Nun ist aber das Gesetz, welches ich unter dem Namen der Erhaltung der Kraft aufgestellt habe, wesentlich verschieden von dem, was die älteren Mechaniker das Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft nannten, wie denn auch in meiner Abhandlung die beiden Namen in Gegensatz zu einander gebracht worden sind. Beide Gesetze sind allerdings öfter verwechselt worden, wie hier von Robert Mayer, so auch von denjenigen anderen Physikern, welche die Entdeckung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft auf Newton zurückdatiren. Das ältere Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft sagt aus, dass die gesammte lebendige Kraft eines bewegten Massensystems bei gleicher relativer Lage der wirkenden Massen zu einander immer wieder denselben Werth erhält unter der

---

1) Siehe S. 174.

Voraussetzung, dass sämmtliche mitwirkende Kräfte einen gewissen analytischen Charakter haben, oder um den neuerdings von Sir William Thomson eingeführten Namen zu gebrauchen, in die Klasse der „conservativen“ Kräfte gehören. Die älteren Mechaniker wussten, dass eine grosse Anzahl von wichtigen und wohlbekannten Bewegungskräften, wie Gravitation, Schwere, Elasticität, Flüssigkeitsdruck conservativ sind, daneben aber liessen sie ohne weiteres Bedenken auch nicht conservative Kräfte zu, wie Reibung, unelastischen Stoss u. s. w.

Dagegen behauptet das Gesetz von der Erhaltung der Kraft, dass alle elementaren Naturkräfte conservativ seien, was offenbar eine ganz andere Behauptung ist, als die früher aufgestellte, wo diese Natur der Kräfte nur als Bedingung für einen gewissen Erfolg und als einer unter mehreren möglichen Fällen angenommen wurde. Meine Abhandlung über die Erhaltung der Kraft hat den ausgesprochenen Zweck, die Gültigkeit dieses zweiten Gesetzes an den Thatsachen zu prüfen.

Historisch genommen war um die Zeit, als Robert Mayer und Joule ihre Arbeiten begannen, die wichtigste Lücke, die der allgemeinen Geltendmachung des letztgenannten Gesetzes entgegen stand, mangelnde Kenntniss der Aequivalenz zwischen Wärme und mechanischer Arbeit. Insofern war die Auffassung der Idee eines solchen Verhältnisses und dessen thatsächlicher Nachweis ein wichtiger Fortschritt. Aber es scheint mir die allgemeine Bedeutung eines der weitreichendsten Naturgesetze herabzuziehen, wenn man darin nur eine Beziehung zwischen Wärme und Arbeit sieht. Ich habe indessen dem in der vorher citirten Stelle von Robert Mayer ausgedrückten Wunsche entsprechend den Text meiner Rede geändert. Meine Absicht war nicht gewesen, ihm weniger, sondern mehr zuzuschreiben, als er selbst für sich in Anspruch nimmt.

Was ich selbst in dieser Richtung gethan habe, habe ich oben nur als die „Formulirung“ des Gesetzes bezeichnet; in der That habe ich es nie als eine Entdeckung im eigentlichen Sinne betrachtet oder dafür ausgegeben. Die Unmöglichkeit, eine Triebkraft ohne Verbrauch zu erzeugen, hatte sich seit ältester Zeit den Mechanikern aufgedrängt; sie ward als inductiv gewonnene feste Ueberzeugung der leitenden wissenschaftlichen Männer ausgesprochen, als die Europäischen Akademien den Beschluss fassten, keine Mittheilungen über die Erfindung eines Perpetuum mobile mehr anzunehmen. Was noch zu leisten blieb,

war, diejenigen Beziehungen zwischen den Naturkräften theoretisch fest zu definiren und experimentell zu prüfen, welche bestehen mussten, wenn kein Perpetuum mobile möglich sein sollte, um die allseitige Berechtigung und Gültigkeit der genannten Induction festzustellen. Das war die Absicht meiner Arbeit. Die erste Veranlassung dazu war für mich, dass ich eine klare und präcise Bestimmung dieser Beziehungen nöthig fand, um die Zulässigkeit der auf S. 177 erwähnten Theorie G. E. Stahl's zu prüfen. Meine Arbeit war, meiner eigenen damaligen Ueberzeugung nach, daher eine wesentlich kritische. Was darin von Entdeckung steckte, war das Ergebniss der Arbeit derjenigen, welche alle Wege, um zum Perpetuum mobile zu gelangen, einzuschlagen versucht und alle ungangbar gefunden hatten. Von dieser Grundlage aus methodisch die bekannten physikalischen Gesetze analysirend, musste ich auch die Aequivalenz zwischen Wärme und Arbeit finden, welche wenige Jahre vorher Robert Mayer und Joule, ohne dass ich von ihnen wusste, ebenfalls gefunden hatten. Von letzterem lernte ich erst unmittelbar vor der Absendung meines Manuscripts einige seiner ersten, noch unvollkommeneren Versuche kennen.

Ich behalte mir vor, bei einer anderen passenderen Gelegenheit auf die Geschichte dieser Entdeckung zurückzukommen[1]).

---

[1]) Dies ist geschehen im Anhang zu Bd. I dieser Sammlung, S. 401 bis 414.

Beilagen zu dem Vortrag „Die Thatsachen in der Wahrnehmung“.

I. Ueber die Localisation der Empfindungen innerer Organe.

Zu Seite 225.

Es könnte hier in Frage kommen, ob nicht die physiologischen und pathologischen Empfindungen innerer Organe des Körpers mit den Seelenzuständen in dieselbe Kategorie fallen müssten, insofern viele von ihnen ebenfalls durch Bewegungen nicht, oder wenigstens nicht erheblich geändert werden. Nun giebt es in der That solche Empfindungen zweideutigen Charakters, wie die der Niedergeschlagenheit, Melancholie, Angst, welche ebenso gut aus körperlichen, wie aus psychischen Ursachen entstehen können, und bei denen auch jede Vorstellung einer besonderen Localisation fehlt. Höchstens macht sich bei der Angst die Gegend des Herzens in unbestimmter Weise als Sitz der Empfindung geltend, wie denn überhaupt die ältere Ansicht, dass das Herz Sitz vieler psychischen Gefühle sei, sich offenbar davon herleitete, dass dieses Organ durch solche häufig in veränderte Bewegung gesetzt wird, welche Bewegung man theils direct, theils indirect durch die aufgelegte Hand fühlt. So entsteht also eine Art falscher körperlicher Localisation für wirklich psychische Zustände. In Krankheitszuständen geht das noch viel weiter. Ich entsinne mich, als junger Arzt einen melancholischen Schuhmacher gesehen zu haben, welcher zu fühlen glaubte, dass sein Gewissen sich zwischen Herz und Magen gedrängt habe.

Andererseits giebt es doch eine Reihe körperlicher Empfindungen, wie Hunger, Durst, Uebersättigung, neuralgische und entzündliche Schmerzen, die wir, wenn auch unbestimmt, als körperliche localisiren und nicht für psychisch halten, obgleich sie durch Bewegungen des Körpers kaum verändert werden. Die meisten entzündlichen und rheumatischen Schmerzen freilich

werden durch Druck auf die Theile oder durch Bewegung der Theile, in denen sie ihren Sitz haben, erheblich gesteigert. Sie sind aber auch im gegentheiligen Falle, ebenso wie die neuralgischen Schmerzen, wohl nur als höhere Intensitäten normal vorkommender Druck- und Spannungsgefühle der betreffenden Theile anzusehen. Die Art der Localisation giebt dabei häufig eine Hindeutung auf die Veranlassungen, bei denen wir etwas über den Ort der Empfindung erfahren haben. So werden fast alle Empfindungen der Baucheingeweide an bestimmte Stellen der vorderen Bauchwand verlegt, selbst für solche Organe, die, wie das Duodenum, Pancreas, Milz u. s. w., der hinteren Wand des Rumpfes näher liegen. Aber Druck von aussen kann alle diese Organe fast nur durch die nachgiebige vordere Bauchwand, nicht durch die dicken Muskelschichten zwischen Rippen, Wirbelsäule und Hüftbein treffen. Ferner ist sehr merkwürdig, dass bei Zahnschmerzen von Beinhautentzündung eines Zahns die Patienten im Anfang gewöhnlich unsicher sind, ob von einem Paar über einander stehender Zähne der obere oder der untere leidet. Man muss erst kräftig auf die beiden Zähne drücken, um zu finden, welcher die Schmerzen macht. Sollte dies nicht davon herrühren, dass Druck auf die Beinhaut der Zahnwurzel im normalen Zustande nur beim Kauen vorzukommen pflegt, und dabei immer beide Zähne jedes Paars gleichzeitig gleich starken Druck erleiden?

Gefühl der Uebersättigung ist Empfindung von Fülle des Magens, welches durch Druck auf die Herzgrube deutlich gesteigert wird, während das Gefühl des Hungers durch denselben Druck sich einigermaassen vermindert. Dadurch kann deren Localisation in der Herzgrube veranlasst sein. Uebrigens wenn wir annehmen, dass den an denselben Stellen des Körpers endigenden Nerven die gleichen Localzeichen zukommen, würde die deutliche Localisation einer Empfindung eines solchen Organs auch für die anderen Empfindungen desselben genügen.

Dies gilt wohl auch für den Durst, insoweit derselbe Empfindung von Trockenheit des Schlundes ist. Das damit verbundene allgemeinere Gefühl von Wassermangel des Körpers, welches durch Benetzen des Mundes und Halses nicht beseitigt wird, ist dagegen nicht bestimmt localisirt.

Das in seiner Qualität eigenthümliche Gefühl des Athmungsbedürfnisses, der sogenannte Lufthunger, wird durch Athmungsbewegungen gemindert, und danach localisirt. Doch scheiden

sich nur unvollkommen die Empfindungen für Athmungshemmnisse der Lungen und für Circulationshemmnisse, falls letztere nicht mit fühlbaren Aenderungen des Herzschlages verbunden sind. Vielleicht ist diese Scheidung nur deshalb so unvollkommen, weil Störungen der Athmung auch in der Regel gesteigerte Herzaction hervorrufen, und gestörte Herzaction die Befriedigung des Athmungsbedürfnisses erschwert.

Zu beachten ist übrigens, dass wir von der Form und den Bewegungen so ausserordentlich fein empfindlicher und dabei sicher und geschickt bewegter Theile, wie es unser Gaumensegel, Kehldeckel und Kehlkopf sind, ohne anatomische und physiologische Studien gar keine Vorstellung haben, da wir sie ohne optische Werkzeuge nicht sehen und sie auch nicht leicht betasten können. Ja trotz aller wissenschaftlichen Untersuchungen wissen wir noch nicht alle ihre Bewegungen mit Sicherheit zu beschreiben, z. B. nicht die bei Hervorbringung der Fistelstimme eintretenden Bewegungen des Kehlkopfs. Hätten wir angeborene Localisationskenntniss für unsere mit Tastempfindung versehenen Organe, so müssten wir eine solche doch für den Kehlkopf ebenso gut, wie für die Hände erwarten. In der That aber reicht unsere Kenntniss von der Form, Grösse, Bewegung unserer eigenen Organe nur gerade so weit, als wir diese sehen und betasten können.

Die ausserordentlich mannigfaltigen und fein auszuführenden Bewegungen des Kehlkopfs lehren uns auch noch betreffs der Beziehung zwischen dem Willensact und seiner Wirkung, dass, was wir zunächst und unmittelbar zu bewirken verstehen, nicht die Innervation eines bestimmten Nerven oder Muskels ist, auch nicht immer eine bestimmte Stellung der beweglichen Theile unseres Körpers, sondern es ist die erste beobachtbare äussere Wirkung. So weit wir durch Auge und Hand die Stellung der Körpertheile ermitteln können, ist letztere die erste beobachtbare Wirkung, auf die sich die bewusste Absicht im Willensact bezieht. Wo wir das nicht können, wie beim Kehlkopf und den hinteren Mundtheilen, sind die verschiedenen Modificationen der Stimme, des Athmens, Schlingens u. s. w. diese nächsten Wirkungen.

Die Bewegungen des Kehlkopfs, obgleich hervorgerufen durch Innervationen, die den zur Bewegung der Glieder gebrauchten vollkommen gleichartig sind, kommen also bei der Beobachtung von Raumveränderungen nicht in Betracht. Ob aber der sehr deutliche und mannigfaltige Ausdruck von Bewegung, den die

Musik hervorbingt, nicht vielleicht darauf zurückzuführen ist, dass die Aenderung der Tonhöhe im Gesang durch Muskelinnervation hervorgebracht wird, also durch dieselbe Art der inneren Thätigkeit, wie die Bewegung der Glieder, wäre noch zu fragen.

Auch für die Bewegungen der Augen besteht ein ähnliches Verhältniss. Wir wissen alle sehr wohl den Blick auf eine bestimmte Stelle des Gesichtsfeldes hinzurichten, d. h. zu bewirken, dass deren Bild auf die centrale Grube der Netzhaut fällt. Ungebildete Personen aber wissen nicht, wie sie die Augen dabei bewegen, und wissen nicht immer der Aufforderung eines Augenarztes, dass sie die Augen etwa nach rechts drehen sollen, wenn dies in dieser Form ausgesprochen wird, Folge zu leisten. Ja selbst Gebildete wissen zwar einen nahe vor die Nase gehaltenen Gegenstand anzusehen, wobei sie nach innen schielen; aber der Aufforderung nach innen zu schielen, ohne dass ein entsprechendes Object da wäre, wissen sie nicht Folge zu leisten.

II. Der Raum kann transcendental sein, ohne dass es die Axiome sind.

Zu Seite 229.

Fast von allen philosophischen Gegnern der metamathematischen Untersuchungen sind beide Behauptungen als identisch behandelt worden, was sie keineswegs sind. Das hat Herr Benno Erdmann[1]) schon ganz klar in der den Philosophen geläufigen Ausdrucksweise aus einander gesetzt. Ich selbst habe es betont in einer gegen die Einwürfe von Herrn Land in Leyden gerichteten Antwort[2]). Obgleich der Verfasser der neuesten Gegenschrift, Herr Albrecht Krause[3]), beide Abhandlungen citirt, sind doch auch bei ihm wieder von sieben Abschnitten die ersten fünf zur Vertheidigung der transcendentalen Natur der Anschauungsform des Raumes bestimmt, und nur zwei behandeln die Axiome. Der Verfasser ist allerdings nicht bloss Kantianer, sondern Anhänger der extremsten nativistischen Theorien in der physiologischen Optik und betrachtet den ganzen Inhalt dieser Theorien als eingeschlossen in Kant's System der Erkenntnisstheorie, wozu doch nicht die geringste Berechtigung vorläge, selbst wenn Kant's individuelle Meinung, dem unentwickelten Zustande der physiologischen Optik seiner Zeit entsprechend, ungefähr so gewesen sein sollte. Die Frage, ob die Anschauung mehr oder weniger weit in begriffliche Bildungen aufzulösen sei, war damals noch nicht aufgeworfen worden. Uebrigens schreibt Herr Krause mir Vorstellungen über Localzeichen, Sinnengedächtniss, Einfluss der Netzhautgrösse u. s. w. zu, die ich nie gehabt und nie vorgetragen habe, oder die zu widerlegen ich mich ausdrücklich bemüht habe. Unter Sinnengedächtniss habe ich stets nur das Gedächtniss für unmittelbare sinnliche Eindrücke, die nicht in Wortfassung gebracht sind, be-

---

[1]) Die Axiome der Geometrie. Leipzig 1877. Capitel III.

[2]) Mind, a Quarterly Review. London und Edinburgh. Vol. III, p. 212 (April 1878).

[3]) „Kant und Helmholtz" von A. Krause. Lahr 1878.

zeichnet, aber würde gegen die Behauptung, dieses Sinnengedächtniss habe seinen Sitz in den peripherischen Sinnesorganen, stets lebhaft protestirt haben. Ich habe Versuche ausgeführt und beschrieben zu dem Zwecke, um zu zeigen, dass wir selbst mit gefälschten Netzhautbildern, z. B. durch Linsen, durch convergirende, divergirende oder seitlich ablenkende Prismen sehend, schnell die Täuschung überwinden lernen und wieder richtig sehen, und dann wird mir S. 41 von Herrn Krause untergeschoben, ein Kind müsste alles kleiner sehen, als ein Erwachsener, weil sein Auge kleiner ist. Vielleicht überzeugt der vorstehende Vortrag den genannten Autor, dass er den Sinn meiner empiristischen Theorie der Wahrnehmung bisher gänzlich missverstanden hat.

Was Herr Krause in den Abschnitten über die Axiome einwendet, ist zum Theil in dem vorstehenden Vortrage erledigt, z. B. die Gründe, warum die anschauliche Vorstellung eines bisher noch nie beobachteten Objects schwer sein könne. Dann folgt mit Bezug auf meine in dem Vortrage über die Axiome der Geometrie [1]) zur Veranschaulichung des Verhältnisses der verschiedenen Geometrien gemachten Annahme flächenhafter Wesen, die auf einer Ebene oder Kugel leben, eine Auseinandersetzung, dass auf der Kugel zwar zwei oder viele „geradeste“ [2]) Linien zwischen zwei Punkten existiren könnten, das Axiom des Euklides aber von der einen „geraden“ Linie spräche. Für die Flächenwesen auf der Kugel aber hat die gerade Verbindungslinie zwischen zwei Punkten der Kugelfläche, nach den gemachten Annahmen, gar keine reale Existenz in ihrer Welt. Die „geradeste“ Linie ihrer Welt wäre eben für sie, was für uns die „gerade“ ist. Herr Krause macht zwar den Versuch, die gerade Linie als die Linie von nur einer Richtung zu definiren. Wie soll man aber Richtung definiren; doch wieder nur durch die gerade Linie. Hier bewegen wir uns in einem Circulus vitiosus. Richtung ist sogar der speciellere Begriff, denn in jeder geraden Linie giebt es zwei entgegengesetzte Richtungen.

Dann folgt eine Auseinandersetzung, dass, wenn die Axiome Erfahrungssätze wären, wir von ihrer Richtigkeit nicht absolut überzeugt sein könnten, wie wir es doch wären. Darum dreht sich ja eben der Streit. Herr Krause ist überzeugt, wir würden Messungen, die gegen die Richtigkeit der Axiome sprächen,

---

[1]) Siehe S. 1 dieses Bandes.

[2]) So hatte ich die kürzesten oder geodätischen Linien benannt.

nicht glauben. Darin mag er wohl in Bezug auf eine grosse Anzahl von Menschen Recht haben, die einem auf alte Autorität gestützten Satze, der mit allen ihren übrigen Kenntnissen eng verwoben ist, lieber trauen als ihrem eigenen Nachdenken. Bei einem Philosophen sollte es doch anders sein. Die Menschen haben sich auch gegen die Kugelgestalt der Erde, gegen deren Bewegung, gegen die Existenz von Meteorsteinen lange genug höchst ungläubig verhalten. Uebrigens ist an seiner Behauptung richtig, dass es sich empfiehlt, in der Prüfung der Beweisgründe gegen Sätze von alter Autorität um so strenger zu sein, je länger sich dieselben bisher in der Erfahrung vieler Generationen als thatsächlich richtig erwiesen haben. Schliesslich aber müssen doch die Thatsachen und nicht die vorgefassten Meinungen oder Kant's Autorität entscheiden. Ferner ist richtig, wenn die Axiome Naturgesetze sind, dass sie natürlich an der nur approximativen Erweisbarkeit aller Naturgesetze durch Induction Theil haben. Aber der Wunsch, exacte Gesetze kennen zu wollen, ist noch kein Beweis dafür, dass es solche giebt. Sonderbar jedoch ist es, dass Herr A. Krause, der die Ergebnisse wissenschaftlicher Messung wegen ihrer begrenzten Genauigkeit verwirft, für die transcendentale Anschauung sich mit den Schätzungen durch das Augenmaass beruhigt (S. 62), um zu erweisen, dass wir gar keiner Messungen bedürften, um uns von der Richtigkeit der Axiome zu überzeugen. Das heisst doch Freund und Feind mit verschiedenem Maasse messen! Als ob nicht jeder Zirkel aus dem schlechtesten Reisszeuge Genaueres leistete als das beste Augenmaass, selbst abgesehen von der Frage, die sich mein Gegner gar nicht stellt, ob das letztere angeboren und a priori gegeben oder nicht auch erworben sei.

Grossen Anstoss hat der Ausdruck Krümmungsmaass in seiner Anwendung auf den Raum von drei Dimensionen bei philosophischen Schriftstellern erregt[1]). Nun bezeichnet der Namen eine gewisse von Riemann definirte Grösse, welche, für Flächen berechnet, zusammenfällt mit dem, was Gauss Krümmungsmaass der Flächen genannt hat. Diesen Namen haben die Geometer als kurze Bezeichnung für den allgemeineren Fall von mehr als zwei Dimensionen beibehalten. Der Streit bewegt sich hier nur um den Namen, und um nichts als den Namen für einen übrigens wohl definirten Grössenbegriff.

---

[1]) Z. B. bei A. Krause, l. c., S. 84.

III. Die Anwendbarkeit der Axiome auf die physische Welt.

Zu Seite 233.

Ich will hier die Folgerungen entwickeln, zu denen wir gedrängt würden, wenn Kant's Hypothese von dem transcendentalen Ursprunge der geometrischen Axiome richtig wäre und erörtern, welchen Werth alsdann diese unmittelbare Kenntniss der Axiome für unsere Beurtheilung der Verhältnisse der objectiven Welt haben würde[1]).

§. 1.

Ich werde in diesem ersten Abschnitte zunächst in der realistischen Hypothese stehen bleiben und deren Sprache reden, also annehmen, dass die Dinge, welche wir objectiv wahrnehmen, reell bestehen und auf unsere Sinne wirken. Ich thue dies zunächst nur, um die einfache und verständliche Sprache des gewöhnlichen Lebens und der Naturwissenschaft reden zu können, und dadurch den Sinn dessen, was ich meine, auch für Nichtmathematiker verständlich auszudrücken. Ich behalte mir vor, im folgenden Paragraphen die realistische Hypothese fallen zu lassen und die entsprechende Auseinandersetzung in abstracter Sprache und ohne jede besondere Voraussetzung über die Natur des Realen zu wiederholen.

Zunächst müssen wir von derjenigen Gleichheit oder Congruenz der Raumgrössen, wie sie nach der gemachten Annahme

---

[1]) Also, um neue Missverständnisse zu verhüten, wie sie bei Herrn A. Krause, l. c., S. 84 vorkommen: nicht ich bin es, „der einen transcendentalen Raum mit ihm eigenen Gesetzen kennt“, sondern ich suche hier die Consequenzen aus der von mir für unerwiesen und unrichtig betrachteten Hypothese Kant's zu ziehen, wonach die Axiome durch transcendentale Anschauung gegebene Sätze sein sollen, um nachzuweisen, dass eine auf solcher Anschauung beruhende Geometrie gänzlich unnütz für objective Erkenntniss sein würde.

aus transcendentaler Anschauung fliessen könnte, diejenige Gleichwerthigkeit derselben unterscheiden, welche durch Messung mit physischen Hülfsmitteln zu constatiren ist.

Physisch gleichwerthig nenne ich Raumgrössen, in denen unter gleichen Bedingungen und in gleichen Zeitabschnitten die gleichen physikalischen Vorgänge bestehen und ablaufen können. Der unter geeigneten Vorsichtsmaassregeln am häufigsten zur Bestimmung physisch gleichwerthiger Raumgrössen gebrauchte Prozess ist die Uebertragung starrer Körper, wie der Zirkel und Maassstäbe, von einem Orte zum anderen. Uebrigens ist es ein ganz allgemeines Ergebniss aller unserer Erfahrungen, dass, wenn die Gleichwerthigkeit zweier Raumgrössen durch irgend welche dazu ausreichende Methode physikalischer Messung erwiesen worden ist, dieselben sich auch allen anderen bekannten physikalischen Vorgängen gegenüber als gleichwerthig erweisen. Physische Gleichwerthigkeit ist also eine vollkommen bestimmte eindeutige objective Eigenschaft der Raumgrössen, und offenbar hindert uns nichts durch Versuche, und Beobachtungen zu ermitteln, wie physische Gleichwerthigkeit eines bestimmten Paares von Raumgrössen abhängt von der physischen Gleichwerthigkeit anderer Paare solcher Grössen. Dies würde uns eine Art von Geometrie geben, die ich einmal für den Zweck unserer gegenwärtigen Untersuchung physische Geometrie nennen will, um sie zu unterscheiden von der Geometrie, die auf die hypothetisch angenommene transcendentale Anschauung des Raumes gegründet wäre. Eine solche rein und absichtlich durchgeführte physische Geometrie würde offenbar möglich sein und vollständig den Charakter einer Naturwissenschaft haben.

Schon deren erste Schritte würden uns auf Sätze führen, welche den Axiomen entsprächen, wenn nur statt der transcendentalen Gleichheit der Raumgrössen ihre physische Gleichwerthigkeit gesetzt wird.

Sobald wir nämlich eine passende Methode gefunden hätten, um zu bestimmen, ob die Entfernungen je zweier Punktpaare einander gleich (d. h. physisch gleichwerthig) sind, würden wir auch den besonderen Fall unterscheiden können, wo drei Punkte a, b, c so liegen, dass ausser b kein zweiter Punkt zu finden ist, der dieselben Entfernungen von a und c hätte, wie b. Wir sagen in diesem Falle, dass die drei Punkte in gerader Linie liegen.

Wir würden dann im Stande sein, drei Punkte A, B, C zu suchen, die alle drei gleiche Entfernung von einander haben, also die Ecken eines gleichseitigen Dreiecks darstellen. Dann könnten wir zwei neue Punkte suchen b und c, beide gleich weit von A entfernt, und b mit A und B, c mit A und C in gerader Linie liegend. Alsdann entstände die Frage: Ist das neue Dreieck Abc auch gleichseitig, wie ABC; ist also $bc = Ab = Ac$? Die Euklidische Geometrie antwortet: ja; die sphärische behauptet: $bc > Ab$, wenn $Ab < AB$; und die pseudosphärische: $bc < Ab$ unter derselben Bedingung. Schon hier kämen die Axiome zur thatsächlichen Entscheidung. Ich habe dieses einfache Beispiel gewählt, weil wir dabei nur mit der Messung von Gleichheit oder Ungleichheit der Entfernungen von Punkten, beziehlich mit der Bestimmtheit oder Unbestimmtheit der Lage gewisser Punkte zu thun haben, und weil gar keine zusammengesetzteren Raumgrössen, gerade Linien oder Ebenen construirt zu werden brauchen. Das Beispiel zeigt, dass diese physische Geometrie ihre die Stelle der Axiome einnehmenden Sätze haben würde.

So weit ich sehe, kann es auch für den Anhänger der Kant'schen Theorie nicht zweifelhaft sein, dass es möglich wäre, in der beschriebenen Weise eine rein erfahrungsmässige Geometrie zu gründen, wenn wir noch keine hätten. In dieser würden wir es nur mit beobachtbaren empirischen Thatsachen und deren Gesetzen zu thun haben. Die Wissenschaft, die auf solche Weise gewonnen wäre, würde nur insofern eine von der Beschaffenheit der im Raum enthaltenen physischen Körper unabhängige Raumlehre sein, als die Voraussetzung zuträfe, dass physische Gleichwerthigkeit immer für alle Arten physischer Vorgänge gleichzeitig eintritt.

Aber Kant's Anhänger behaupten, dass es neben einer solchen physischen auch eine reine Geometrie gebe, die allein auf transcendentale Anschauung gegründet sei, und dass diese in der That diejenige Geometrie sei, die bisher wissenschaftlich entwickelt wurde. Bei dieser hätten wir es gar nicht mit physischen Körpern und deren Verhalten bei Bewegungen zu thun, sondern wir könnten, ohne durch Erfahrung von solchen irgend etwas zu wissen, durch innere Anschauung uns Vorstellungen bilden von absolut unveränderlichen und unbeweglichen Raumgrössen, Körpern, Flächen, Linien, die, ohne dass sie jemals durch Bewegung, die nur physischen Körpern

zukommt, zur Deckung gebracht würden, doch im Verhältniss der Gleichheit und Congruenz zu einander ständen [1]).

Ich erlaube mir hervorzuheben, dass diese innere Anschauung von Geradheit der Linien, Gleichheit von Entfernungen oder von Winkeln absolute Genauigkeit haben müsste; sonst würden wir durchaus nicht berechtigt sein, darüber zu entscheiden, ob zwei gerade Linien, unendlich verlängert, sich nur einmal, oder auch vielleicht wie grösste Kreise auf der Kugel zweimal schneiden, noch zu behaupten, dass jede gerade Linie, welche eine von zwei Parallellinien, mit denen sie in derselben Ebene liegt, schneidet, auch die andere schneiden müsse. Man muss nicht das so unvollkommene Augenmaass für die transcendentale Anschauung unterschieben wollen, welche letztere absolute Genauigkeit fordert.

Gesetzten Falls, wir hätten nun eine solche transcendentale Anschauung von Raumgebilden, ihrer Gleichheit und ihrer Congruenz, und könnten uns durch wirklich genügende Gründe überzeugen, dass wir sie haben: so würde sich allerdings daraus ein System der Geometrie herleiten lassen, welches unabhängig von allen Eigenschaften der physischen Körper wäre, eine reine, transcendentale Geometrie. Auch diese Geometrie würde ihre Axiome haben. Es ist aber klar, auch nach Kant'schen Principien, dass die Sätze dieser hypothetischen reinen Geometrie nicht nothwendig mit denen der physischen übereinzustimmen brauchten. Denn die eine redet von Gleichheit der Raumgrössen in innerer Anschauung, die andere von physischer Gleichwerthigkeit. Diese letztere hängt offenbar ab von empirischen Eigenschaften der Naturkörper und nicht bloss von der Organisation unseres Geistes.

Dann wäre also zu untersuchen, ob die beiden besprochenen Arten der Gleichheit nothwendig immer zusammenfallen. Durch Erfahrung ist darüber nicht zu entscheiden. Hat es einen Sinn zu fragen, ob zwei Paare Zirkelspitzen nach transcendentaler Anschauung gleiche oder ungleiche Längen umfassen? Ich weiss damit keinen Sinn zu verbinden und soweit ich die neueren Anhänger Kant's verstanden habe, glaube ich annehmen zu dürfen, dass auch sie mit Nein antworten würden. Das Augenmaass dürfen wir uns, wie gesagt, hierbei nicht unterschieben lassen.

---

1) Land in Mind. II., p. 41. — A. Krause, l. c., S. 62.

Könnte nun etwa aus Sätzen der reinen Geometrie gefolgert werden, dass die Entfernungen der beiden Zirkelspitzenpaare gleich gross seien? Dazu müssten geometrische Beziehungen zwischen diesen Entfernungen und anderen Raumgrössen bekannt sein, von welchen letzteren man direct wissen müsste, dass sie im Sinne der transcendentalen Anschauung gleich seien. Da man dies nun direct nie wissen kann, so kann man es auch durch geometrische Schlüsse niemals folgern.

Wenn der Satz, dass beide Arten räumlicher Gleichheit identisch sind, nicht durch Erfahrung gefunden werden kann, so müsste er ein metaphysischer Satz sein und einer Denknothwendigkeit entsprechen. Dann würde eine solche aber nicht nur die Form empirischer Erkenntnisse, sondern auch ihren Inhalt bestimmen, — wie zum Beispiel bei der oben angeführten Construction zweier gleichseitiger Dreiecke, — eine Folgerung, welche Kant's Principien geradezu widersprechen würde. Dann würde das reine Anschauen und Denken mehr leisten, als Kant zuzugeben geneigt ist.

Gesetzten Falls endlich, dass die physische Geometrie eine Reihe allgemeiner Erfahrungssätze gefunden hätte, die mit den Axiomen der reinen Geometrie gleichlautend wären: so würde daraus höchstens folgen, dass die Uebereinstimmung zwischen physischer Gleichwerthigkeit der Raumgrössen und ihrer Gleichheit in reiner Raumanschauung eine zulässige Hypothese sei, die zu keinem Widerspruche führt. Sie würde aber nicht die einzig mögliche Hypothese sein. Der physische Raum und der Raum der Anschauung könnten sich zu einander auch verhalten, wie der wirkliche Raum zu seinem Abbild in einem Convexspiegel [1]).

Dass die physische Geometrie und die transcendentale nicht nothwendig übereinzustimmen brauchen, geht daraus hervor, dass wir sie uns thatsächlich als nicht übereinstimmend vorstellen können.

Die Art, wie eine solche Incongruenz zur Erscheinung kommen würde, ergiebt sich schon aus dem, was ich in einem früheren Aufsatze [2]) aus einander gesetzt habe. Nehmen wir an, dass die physikalischen Messungen einem pseudosphärischen

---

[1]) Siehe meinen Vortrag über die Axiome in der Geometrie S. 1 dieses Bandes.

[2]) Ueber die Axiome in der Geometrie S. 1 dieses Bandes.

Raume entsprächen. Der sinnliche Eindruck von einem solchen bei Ruhe des Beobachters und der beobachteten Objecte würde derselbe sein, als wenn wir Beltrami's kugeliges Modell im Euklidischen Raume vor uns hätten, wobei der Beobachter sich im Mittelpunkt befände. So wie aber der Beobachter seinen Platz wechselte, würde das Centrum der Projectionskugel mit dem Beobachter wandern müssen und die ganze Projection sich verschieben. Für einen Beobachter, dessen Raumanschauungen und Schätzungen von Raumgrössen entweder aus transcendentaler Anschauung oder als Resultat der bisherigen Erfahrung im Sinne der Euklidischen Geometrie gebildet wären, würde also der Eindruck entstehen, dass, so wie er selbst sich bewegt, auch alle von ihm gesehenen Objecte sich in einer bestimmten Weise verschieben und nach verschiedenen Richtungen verschieden sich dehnen und zusammenziehen. In ähnlicher Weise, nur nach quantitativ abweichenden Verhältnissen, sehen wir auch in unserer objectiven Welt die perspectivische relative Lage und die scheinbare Grösse der Objecte von verschiedener Entfernung wechseln, so wie der Beobachter sich bewegt. Wie wir nun thatsächlich im Stande sind, aus diesen wechselnden Gesichtsbildern zu erkennen, dass die Objecte rings um uns ihre relative gegenseitige Lage und Grösse nicht verändern, so lange die perspectivischen Verschiebungen genau dem in der bisherigen Erfahrung bewährten Gesetze entsprechen, welchem sie bei ruhenden Objecten unterworfen sind, wie wir dagegen bei jeder Abweichung von diesem Gesetze auf Bewegung der Objecte schliessen: so würde, wie ich selbst, als Anhänger der empiristischen Theorie der Wahrnehmung, glaube voraussetzen zu dürfen, auch Jemand, der aus dem Euklidischen Raume in den pseudosphärischen überträte, anfangs zwar Scheinbewegungen der Objecte zu sehen glauben, aber sehr bald lernen, eine Schätzung der Raumverhältnisse den neuen Bedingungen anzupassen.

Dies Letztere ist aber eine Voraussetzung, die nur nach der Analogie dessen, was wir sonst von den Sinneswahrnehmungen wissen, gebildet ist, und durch den Versuch nicht geprüft werden kann. Nehmen wir also an, die Beurtheilung der Raumverhältnisse bei einem solchen Beobachter könnte nicht mehr geändert werden, weil sie mit angeborenen Formen der Raumanschauung zusammenhinge: so würde derselbe doch schnell ermitteln, dass die Bewegungen, die er zu sehen glaubt, nur Scheinbewegungen sind, da sie immer wieder zurückgehen, wenn er selbst sich auf

seinen ersten Standpunkt zurückbegiebt; oder ein zweiter Beobachter würde constatiren können, dass Alles in Ruhe bleibt, während der erste den Ort wechselt. Wenn also vielleicht auch nicht vor der unreflectirten Anschauung, würde doch bald vor der wissenschaftlichen Untersuchung sich herausstellen können, welches die physikalisch constanten Raumverhältnisse sind, etwa so wie wir selbst durch wissenschaftliche Untersuchungen wissen, dass die Sonne feststeht und die Erde rotirt, trotzdem der sinnliche Schein fortbesteht, dass die Erde stillsteht und die Sonne in 24 Stunden einmal um sie herumläuft.

Dann aber würde diese ganze vorausgesetzte transcendentale Anschauung a priori in den Rang einer Sinnestäuschung, eines objectiv falschen Scheines herabgesetzt werden, von der wir uns zu befreien und die wir zu vergessen suchen müssten, wie es bei der scheinbaren Bewegung der Sonne der Fall ist. Es würde dann ein Widerspruch sein zwischen dem, was nach der angeborenen Anschauung als räumlich gleichwerthig erscheint, und dem, was in den objectiven Phänomenen sich als solches erweist. Unser ganzes wissenschaftliches und praktisches Interesse würde an das letztere geknüpft sein. Die transcendentale Anschauungsform würde die physikalisch gleichwerthigen Raumverhältnisse nur so darstellen, wie eine ebene Landkarte die Oberfläche der Erde, sehr kleine Stücke und Streifen richtig, grössere dagegen nothwendig falsch. Es würde sich dann nicht bloss um die Erscheinungsweise handeln, die ja nothwendig eine Modification des darzustellenden Inhalts bedingt, sondern darum, dass die Beziehungen zwischen Erscheinung und Inhalt, die für engere Grenzen Uebereinstimmung zwischen beiden herstellen, auf weitere Grenzen ausgedehnt einen falschen Schein geben würden.

Die Folgerung, welche ich aus diesen Betrachtungen ziehe, ist diese: Wenn es wirklich eine uns angeborene und unvertilgbare Anschauungsform des Raumes mit Einschluss der Axiome gäbe, so würden wir zu ihrer objectiven wissenschaftlichen Anwendung auf die Erfahrungswelt erst berechtigt sein, wenn durch Beobachtung und Versuch constatirt wäre, dass die nach der vorausgesetzten transcendentalen Anschauung gleichwerthigen Raumtheile auch physisch gleichwerthig seien. Diese Bedingung trifft zusammen mit Riemann's Forderung, dass das Krümmungsmaass des Raumes, in dem wir leben, empirisch durch Messung bestimmt werden müsse.

Die bisher ausgeführten Messungen dieser Art haben keine merkliche Abweichung des Werthes dieses Krümmungsmaasses von Null ergeben. Als thatsächlich richtig innerhalb der bis jetzt erreichten Grenzen der Genauigkeit des Messens können wir die Euklidische Geometrie also allerdings ansehen.

§. 2.

Die Erörterungen des ersten Paragraphen blieben ganz im Gebiete des Objectiven und des realistischen Standpunkts des Naturforschers, wobei die begriffliche Fassung der Naturgesetze der Endzweck ist und die Kenntniss durch Anschauung nur eine erleichternde Hülfe, beziehlich ein zu beseitigender falscher Schein.

Herr Professor Land glaubt nun, dass ich bei meinen Auseinandersetzungen die Begriffe des Objectiven und des Realen verwechselt hätte, dass bei meiner Behauptung, die geometrischen Sätze könnten an der Erfahrung geprüft und durch sie bestätigt werden, unbegründeter Weise vorausgesetzt sei (Mind. II., p. 46) „that empirical knowledge is acquired by simple importation or by counterfeit, and not by peculiar operations of the mind, sollicited by varied impulses from an unknown reality“. Wenn Herr Prof. Land meine Arbeiten über Sinnesempfindungen gekannt hätte, würde er gewusst haben, dass ich selbst mein Leben lang gegen eine solche Voraussetzung, wie er mir unterschiebt, gekämpft habe. Ich habe von dem Unterschiede des Objectiven und Realen in meinem Aufsatze nicht gesprochen, weil mir in der vorliegenden Untersuchung gar kein Gewicht auf diesen Unterschied zu fallen schien. Um diese meine Meinung zu begründen, wollen wir jetzt, was in der realistischen Ansicht hypothetisch ist, fallen lassen und nachweisen, dass die bisher aufgestellten Sätze und Beweise auch dann noch einen vollkommen richtigen Sinn haben, dass man auch dann noch nach der physischen Gleichwerthigkeit von Raumgrössen zu fragen und darüber durch Erfahrung zu entscheiden berechtigt ist.

Die einzige Voraussetzung, welche wir festhalten, ist die des Causalgesetzes, dass nämlich die mit dem Charakter der Wahrnehmung in uns zu Stande kommenden Vorstellungen nach festen Gesetzen zu Stande kommen, so dass, wenn verschiedene Wahrnehmungen sich uns aufdrängen, wir berechtigt sind, daraus auf Verschiedenheit der realen Bedingungen zu schliessen, unter denen sie sich gebildet haben. Uebrigens wissen wir über diese

Bedingungen selbst, über das eigentlich Reale, was den Erscheinungen zu Grunde liegt, nichts; alle Meinungen, die wir sonst darüber hegen mögen, sind nur als mehr oder minder wahrscheinliche Hypothesen zu betrachten. Die vorangestellte Voraussetzung dagegen ist das Grundgesetz unseres Denkens; wenn wir sie aufgeben wollten, so würden wir damit überhaupt darauf Verzicht leisten, diese Verhältnisse denkend begreifen zu können.

Ich hebe hervor, dass über die Natur der Bedingungen, unter denen Vorstellungen entstehen, hier gar keine Voraussetzungen gemacht werden sollen. Ebenso gut, wie die realistische Ansicht, deren Sprache wir bisher gebraucht haben, wäre zulässig die Hypothese des subjectiven Idealismus. Wir könnten annehmen, dass all unser Wahrnehmen nur ein Traum sei, wenn auch ein in sich höchst consequenter Traum, in dem sich Vorstellung aus Vorstellung nach festen Gesetzen entwickelte. In diesem Falle würde der Grund, dass eine neue scheinbare Wahrnehmung eintritt, nur darin zu suchen sein, dass in der Seele des Träumenden Vorstellungen bestimmter anderer Wahrnehmungen und etwa auch Vorstellungen von eigenen Willensimpulsen bestimmter Art vorausgegangen sind. Was wir in der realistischen Hypothese Naturgesetze nennen, würden in der idealistischen Gesetze sein, welche die Folge der mit dem Charakter der Wahrnehmung auf einander folgenden Vorstellungen regeln.

Nun finden wir als Thatsache des Bewusstseins, dass wir Objecte wahrzunehmen glauben, die sich an bestimmten Orten im Raume befinden. Dass ein Object an einem bestimmten besonderen Orte erscheint und nicht an einem anderen, wird abhängen müssen von der Art der realen Bedingungen, welche die Vorstellung hervorrufen. Wir müssen schliessen, dass andere reale Bedingungen hätten vorhanden sein müssen, um zu bewirken, dass die Wahrnehmung eines anderen Orts des gleichen Objects eintrete. Es müssen also in dem Realen irgend welche Verhältnisse oder Complexe von Verhältnissen bestehen, welche bestimmen, an welchem Ort im Raume uns ein Object erscheint. Ich will diese, um sie kurz zu bezeichnen, *topogene Momente* nennen. Von ihrer Natur wissen wir nichts, wir wissen nur, dass das Zustandekommen räumlich verschiedener Wahrnehmungen eine Verschiedenheit der topogenen Momente voraussetzt.

Daneben muss es im Gebiete des Realen andere Ursachen geben, welche bewirken, dass wir zu verschiedener Zeit am gleichen Orte verschiedene stoffliche Dinge von verschiedenen Eigenschaften wahrzunehmen glauben. Ich will mir erlauben, diese mit dem Namen der hylogenen Momente zu bezeichnen. Ich wähle diese neuen Namen, um alle Einmischung von Nebenbedeutungen abzuschneiden, die sich an gebräuchliche Worte knüpfen könnten.

Wenn wir nun irgend etwas wahrnehmen und behaupten, was eine gegenseitige Abhängigkeit von Raumgrössen aussagt, so ist zweifelsohne der thatsächliche Sinn einer solchen Aussage nur der, dass zwischen gewissen topogenen Momenten, deren eigentliches Wesen uns aber unbekannt bleibt, eine gewisse gesetzmässige Verbindung stattfindet, deren Art uns ebenfalls unbekannt ist. Eben deshalb sind Schopenhauer und viele Anhänger von Kant zu der unrichtigen Folgerung gekommen, dass in unseren Wahrnehmungen räumlicher Verhältnisse überhaupt kein realer Inhalt sei, dass der Raum und seine Verhältnisse nur transcendentaler Schein seien, ohne dass irgend etwas Wirkliches ihnen entspreche. Wir sind aber jedenfalls berechtigt, auf unsere räumlichen Wahrnehmungen dieselben Betrachtungen anzuwenden, wie auf andere sinnliche Zeichen z. B. die Farben. Blau ist nur eine Empfindungsweise; dass wir aber zu einer gewissen Zeit in einer bestimmten Richtung Blau sehen, muss einen realen Grund haben. Sehen wir zu einer Zeit dort Roth, so muss dieser reale Grund verändert sein.

Wenn wir beobachten, dass verschiedenartige physikalische Prozesse in congruenten Räumen während gleicher Zeitperioden verlaufen können, so heisst dies, dass im Gebiete des Realen gleiche Aggregate und Folgen gewisser hylogener Momente zu Stande kommen und ablaufen können in Verbindung mit gewissen bestimmten Gruppen verschiedener topogener Momente, solcher nämlich, die uns die Wahrnehmung physisch gleichwerthiger Raumtheile geben. Und wenn uns dann die Erfahrung belehrt, dass jede Verbindung oder jede Folge hylogener Momente, die in Verbindung mit der einen Gruppe topogener Momente bestehen oder ablaufen kann, auch mit jeder physikalisch äquivalenten Gruppe anderer topogener Momente möglich ist, so ist dies jedenfalls ein Satz, der einen realen Inhalt hat, und die topogenen Momente beeinflussen also unzweifelhaft den Ablauf realer Prozesse.

In dem oben angegebenen Beispiel mit den zwei gleichseitigen Dreiecken handelt es sich nur 1) um Gleichheit oder Ungleichheit, d. h. physische Gleichwerthigkeit oder Nicht-Gleichwerthigkeit von Punktabständen; 2) um Bestimmtheit oder Nicht-Bestimmtheit der topogenen Momente gewisser Punkte. Diese Begriffe von Bestimmtheit und von Gleichwerthigkeit in Beziehung auf gewisse Folgen können aber auch auf Objecte von übrigens ganz unbekanntem Wesen angewendet werden. Ich schliesse daraus, dass die Wissenschaft, welche ich physische Geometrie genannt habe, Sätze von realem Inhalt enthält, und dass ihre Axiome bestimmt werden, nicht von blossen Formen des Vorstellens, sondern von Verhältnissen der realen Welt.

Dies berechtigt uns noch nicht, die Annahme einer Geometrie, die auf transcendentale Anschauung gegründet ist, für unmöglich zu erklären. Man könnte z. B. annehmen, dass eine Anschauung von der Gleichheit zweier Raumgrössen ohne physische Messung unmittelbar durch die Einwirkung der topogenen Momente auf unser Bewusstsein hervorgebracht werde, dass also gewisse Aggregate topogener Momente auch in Bezug auf eine psychische, unmittelbar wahrnehmbare Wirkung äquivalent seien. Die ganze Euklidische Geometrie lässt sich herleiten aus der Formel, welche die Entfernung zweier Punkte als Function ihrer rechtwinkligen Coordinaten giebt. Nehmen wir an, dass die Intensität jener psychischen Wirkung, deren Gleichheit als Gleichheit der Entfernung zweier Punkte im Vorstellen erscheint, in derselben Weise von irgend welchen drei Functionen der topogenen Momente jedes Punktes abhängt, wie die Entfernung im Euklidischen Raume von den drei Coordinaten eines jeden, so müsste das System der reinen Geometrie eines solchen Bewusstseins die Axiome des Euklid erfüllen, wie auch übrigens die topogenen Momente der realen Welt und ihre physische Aequivalenz sich verhielten. Es ist klar, dass in diesem Falle die Uebereinstimmung zwischen psychischer und physischer Gleichwerthigkeit der Raumgrössen nicht allein aus der Form der Anschauung entschieden werden könnte. Und wenn sich Uebereinstimmung herausstellen sollte, so wäre diese als ein Naturgesetz, oder, wie ich es in meinem populären Vortrage bezeichnet habe, als eine praestabilirte Harmonie zwischen der Vorstellungswelt und der realen Welt aufzufassen, ebenso gut, wie es auf Naturgesetzen beruht, dass die von einem Lichtstrahl

beschriebene gerade Linie mit der von einem gespannten Faden gebildeten zusammenfällt.

Ich meine damit gezeigt zu haben, dass die Beweisführung, die ich im §. 1 in der Sprache der realistischen Hypothese gegeben habe, sich auch ohne deren Voraussetzungen gültig erweist.

Wenn wir die Geometrie auf Thatsachen der Erfahrung anwenden wollen, wo es sich immer nur um physische Gleichwerthigkeit handelt, können nur die Sätze derjenigen Wissenschaft angewendet werden, die ich als physische Geometrie bezeichnet habe. Wer die Axiome aus der Erfahrung herleitet, dem ist unsere bisherige Geometrie in der That physische Geometrie, die sich nur auf eine grosse Menge planlos gesammelter, statt auf ein System methodisch durchgeführter Erfahrungen stützt. Zu erwähnen ist übrigens, dass dies schon die Ansicht von Newton war, der in der Einleitung zu den „Principia" erklärt: „Geometrie selbst hat ihre Begründung in mechanischer Praxis und ist in der That nichts Anderes, als derjenige Theil der gesammten Mechanik, welcher die Kunst des Messens genau feststellt und begründet[1])."

Dagegen ist die Annahme einer Kenntniss der Axiome aus transcendentaler Anschauung:

1) eine unerwiesene Hypothese;

2) eine unnöthige Hypothese, da sie nichts in unserer thatsächlichen Vorstellungswelt zu erklären vorgiebt, was nicht auch ohne ihre Hülfe erklärt werden könnte;

3) eine für die Erklärung unserer Kenntniss der wirklichen Welt gänzlich unbrauchbare Hypothese, da die von ihr aufgestellten Sätze auf die Verhältnisse der wirklichen Welt immer erst angewendet werden dürfen, nachdem ihre objective Giltigkeit erfahrungsmässig geprüft und festgestellt worden ist.

Kant's Lehre von den a priori gegebenen Formen der Anschauung ist ein sehr glücklicher und klarer Ausdruck des Sachverhältnisses; aber diese Formen müssen inhaltsleer und frei genug sein, um jeden Inhalt, der überhaupt in die betreffende Form der Wahrnehmung eintreten kann, aufzunehmen. Die Axiome der Geometrie aber beschränken die Anschauungs-

---

[1]) Fundatur igitur Geometria in praxi Mechanica, et nihil aliud est quam Mechanicae universalis pars illa, quae artem mensurandi accurate proponit ac demonstrat.

form des Raumes so, dass nicht mehr jeder denkbare Inhalt darin aufgenommen werden kann, wenn überhaupt Geometrie auf die wirkliche Welt anwendbar sein soll. Lassen wir sie fallen, so ist die Lehre von der Transcendentalität der Anschauungsform des Raumes ohne allen Anstoss. Hier ist Kant in seiner Kritik nicht kritisch genug gewesen; aber freilich handelte es sich dabei um Lehrsätze aus der Mathematik, und dies Stück kritischer Arbeit musste durch die Mathematiker erledigt werden.

Anhang zu dem Vortrag

„Die neuere Entwickelung von Faraday's Ideen über Elektricität".

I.

Berechnung der elektrostatischen Wirkung der elektrolytischen Ladungen von einem Milligramm Wasser.

Zu Seite 277.

Nach den letzten sorgfältigen Messungen des elektrochemischen Aequivalents des Wassers, welche Professor F. Kohlrausch ausgeführt hat, zersetzt die von W. Weber definirte elektromagnetische Stromeinheit (= 0,1 Ampère) 0,009476 mg Wasser in der Secunde. Diese selbe Stromeinheit macht ungefähr 300 000 Millionen elektrostatische Einheiten durch jeden Querschnitt des Stromes während einer Secunde fliessen, von denen die eine Hälfte abwärts fliessende $+E$, die andere aufwärts fliessende $-E$ ist. W. Weber selbst gab 311 000, Clerk Maxwell 288 000 Millionen. Die elektrostatische Einheit der Elektricität, wie sie durch Gauss und W. Weber eingeführt wurde, ist diejenige Menge, welche eine ihr gleiche Quantität aus der Entfernung von 1 mm mit der Krafteinheit abstösst. Letztere wiederum ist diejenige Kraft, welche, während einer Secunde auf 1 mg wirkend, ihm die Geschwindigkeit von 1 mm in der Secunde ertheilt. Die Schwere eines Milligramms ertheilt ihm in der Secunde eine Geschwindigkeit von 9809 mm. Folglich ist Weber's Krafteinheit $\frac{1}{9809}$ von der Schwere eines Milligramms.

Die Kraft F, mit welcher das elektrische Quantum $+E$, welches nach elektrostatischen Einheiten gemessen ist, das gleich grosse Quantum $-E$ aus der Entfernung r anzieht, durch die Schwere eines Gewichts gemessen, ist demnach:

$$F = \frac{E^2}{r^2} \cdot \frac{1\ \text{mg}}{9809}.$$

Wenn wir unter E die Elektricität verstehen, die bei der Zersetzung von 1 mg Wasser jeder Elektrode zuströmt, so ist diese nach den oben angeführten Bestimmungen gleich 31,66 Billionen Einheiten, und wenn wir $r = 1$ km $= 1\,000\,000$ mm setzen, erhalten wir das im Text angegebene Resultat oder genauer 102180 kg[1]).

Vergleich mit der Gravitation.

Die Schwere eines Gewichts m ist die Anziehungskraft zwischen ihm und der Erdmasse, welche letztere so wirkt, als wäre sie ganz in dem Mittelpunkte der Erde vereinigt. Wenn wir mit h die mittlere Dichtigkeit der Erde, mit r ihren Radius bezeichnen, so ist die Masse der Erde

$$\frac{4\,\pi}{3} \cdot r^3 \cdot h.$$

Wenn G die Anziehungskraft der Gravitation zwischen zwei Masseneinheiten in der Einheit der Entfernung ist, so ist die Anziehung der Masse m durch die irdische Schwere

$$gm = \frac{4\,\pi}{3} \cdot r \cdot h \cdot G \cdot m.$$

Nach der Definition des Meter ist

$$\frac{\pi}{2}\, r = 10^7 \text{ m} = 10^{10} \text{ mm}.$$

Ferner ist

$$h = 5{,}62 \text{ mg auf 1 cmm}.$$

Daher ist die Anziehung zwischen $\frac{8}{9}$ mg Sauerstoff und $\frac{1}{9}$ mg Wasserstoff, wie sie in 1 mg Wasser enthalten sind, in der Entfernung von 1 mm gleich

$$\frac{1}{9} \cdot \frac{8}{9} \cdot G = \frac{g}{27 \,.\, h \,.\, 10^{10}},$$

oder gleich dem Gewicht von

$$\frac{6{,}5917}{10^{13}} \text{ mg}.$$

[1]) Im Original ist nur die zugeführte, nicht die ganze angesammelte E berechnet. Aber die Anziehung hängt von der letzteren ab, welche doppelt so gross als die erstere ist. Danach sind auch die folgenden Zahlen geändert.

Die Anziehung der elektrischen Ladungen, welche oben für 1 km Entfernung berechnet ist, würde in 1 mm Entfernung sein gleich dem Gewicht von

$$102180 \,.\, 10^{18} \text{ mg.}$$

Daraus folgt, dass, um durch die Gravitation wägbarer Massen bei gleicher gegenseitiger Lage die gleiche Anziehungskraft zu erhalten, diese 393 700 Billionen Mal grösser sein müssten, als die der genannten Bestandtheile des Wassers.

II.

Uebersättigte Verbindungen (1883).

Zu Seite 290.

Das Vorkommen ungesättigter Verbindungen liesse sich durch die Annahme erklären, dass gewisse Atome einzelne schwächere Valenzstellen haben, in denen die eine Art der Elektricität zwar kräftig festgehalten wird, die andere aber so wenig, dass sie auch ganz loslassen kann, wenn die anderen Valenzen einen Ueberschuss gleichnamiger E zeigen. Der Stickstoff zeigt auch sonst bekanntlich wechselnde Valenzwerthe. Während er meistens dreiwerthig erscheint, muss man ihn in NH_4Cl und ähnlichen Verbindungen als fünfwerthig betrachten. Drei seiner Valenzen müssen kräftig $-E$ anziehen, eine vierte (nämlich für das vierte H im Salmiak) schwach. Drei dagegen müssen auch mässig starke Anziehung für $+E$ haben. Wenn nun drei bivalente Atome elektrisch neutralen Kupfers sich in Salpetersäure auflösen:

$$3\,Cu + 8\,NO_3H = 3\left[\left.\begin{matrix} NO_3 \\ NO_3 \end{matrix}\right\} Cu\right] + 4\,[H_2O] + 2\,[N\,.\,O],$$

so muss aller H positive Ladung behalten, und die drei vorher negativen Valenzen vom Cu solche bekommen. Drei Aequivalente $-E$ werden also an die zwei Atome NO übergehen müssen, lassen sich aber nicht in zwei gleiche Hälften theilen. Das gesättigte Atom

$$O{=}N{-}N{=}O$$

haftet offenbar nicht zusammen, während das auch leicht zerfallende Stickstoffperoxyd eine etwas bessere Bindung zulässt:

```
O—N—O
|  |  |
O—N—O
```

Nimmt man an, dass in der Hälfte der Atome $+E$ eine schwache Valenzstelle losgelassen hat, die nur $-E$ stark binden könnte, dass in der anderen Hälfte der Atome die betreffende Stelle $-E$ festhält, und jene losgelassene $+E$ als elektrostatische Ladung durch die genannte $-E$ gebunden wird, so wäre dies eine Vertheilung, in der jedes Atom neutral wäre, die eine Hälfte der Atome aber ein Aequivalent beider Elektricitäten mehr enthielte als die andere.

Zusatz zu dem Vortrag

„Ueber die elektrischen Maasseinheiten nach den Berathungen des elektrischen Congresses, versammelt zu Paris 1881".

1884.

Den internationalen Conferenzen, welche in Paris im October 1882 und im April 1884 zusammentraten, wurden eine Reihe neuer Arbeiten vorgelegt über die Bestimmung des Ohm, in Werthen der Siemens'schen Quecksilbereinheit ausgedrückt. Ich gebe unten eine von Gryll Adams gemachte Zusammenstellung dieser Werthe. Es ergiebt sich daraus schon eine ziemlich weitgehende Uebereinstimmung; wenn auch die von der Conferenz im Jahre 1882 geforderte Genauigkeit von 1 pro Mille durch die Mehrzahl der Beobachter noch nicht erreicht ist. Die diesjährige Conferenz (1884) betrachtete die Uebereinstimmung jedoch als ausreichend, um zur Feststellung des „legalen Ohm" für die technischen Zwecke zu schreiten, und beantragte den Werth festzusetzen:

1 Ohm = 1,060 Quecksilbereinheit.

Die noch bestehenden Abweichungen fallen in die Grenzen der Temperaturcorrectionen; und Scalen, welche nach der so festgesetzten Einheit getheilt sind, werden nur einer anderen Bestimmung für die Normaltemperatur ihrer Gültigkeit bedürfen, um das genaue theoretische Ohm zu repräsentiren.

Tafel der von verschiedenen Beobachtern gefundenen Werthe des Ohm, ausgedrückt in Quecksilbereinheiten.

Jahr	Beobachter	Werth des Ohm	Methode
1881	Rayleigh und Schuster	1,0598	Der British Association.
1882	Rayleigh	1,0628	ebenso.
1882	H. Weber	1,0614	dieselbe modificirt.

Jahr	Beobachter	Werth des Ohm	Methode
1874	F. Kohlrausch	1,0591	W. Weber's erste Methode.
1884	Mascart	1,0632	ebenso.
1884	G. Wiedemann	1,0619	ebenso mit dem grossen in Leipzig von Weber selbst construirten Apparate.
1878	Rowland	1,0579	Kirchhoff's Methode, modificirt.
1882	Glazebrook	1,0630	ebenso.
1884	Mascart	1,0632	ebenso.
1884	F. Weber	1,0537	ebenso.
1884	Roiti	1,0590	Roiti.
1873	Lorenz	1,0710	Lorenz.
1884	Lorenz	1,0619	ebenso.
1883	Rayleigh	1,0624	dieselbe modificirt.
1884	Lenz	1,0613	dieselbe.
1882	Dorn	1,0546	W. Weber's Dämpfungsmethode.
1883	Wild	1,0568	dieselbe.
1884	F. Weber	1,0526	dieselbe.
1866	Joule	1,0623	Wärmeentwickelung
	Mittel	1,0604	

Induction und Deduction.

Vorrede

zum

zweiten Theile des ersten Bandes der Uebersetzung von William Thomson's und Tait's „Treatise on Natural Philosophy".

Seitdem die Uebersetzung des ersten Theiles dieses Bandes veröffentlicht wurde, ist sowohl die ganze wissenschaftliche Richtung desselben, als insbesondere auch eine Reihe einzelner Stellen daraus von J. C. F. Zöllner in seinem Buche „Ueber die Natur der Kometen" einer mehr als lebhaften Kritik unterzogen worden. Auslassungen gegen die persönlichen Eigenschaften der englischen Autoren oder meiner selbst zu beantworten, halte ich nicht für nöthig. Auf eine Kritik wissenschaftlicher Sätze und Principien zu erwidern, habe ich der Regel nach nur dann für nöthig gehalten, wenn neue Thatsachen beizubringen oder Missverständnisse aufzuklären waren, in der Erwartung, dass, wenn alle Data gegeben sind, die wissenschaftlichen Fachgenossen schliesslich sich ihr Urtheil zu bilden wissen auch ohne die weitläufigen Auseinandersetzungen oder sophistischen Künste der streitenden Gegner. Wäre das vorliegende Handbuch nur für reif ausgebildete Sachverständige bestimmt, so hätte der Zöllner'sche Angriff unbeantwortet bleiben können. Es ist aber auch wesentlich für Lernende berechnet, und da jüngere Leser durch die überaus grosse Zuversichtlichkeit und den Ton sittlicher Entrüstung, in welchem unser Kritiker seine Meinungen vorzutragen sich berechtigt glaubt, vielleicht irre gemacht werden könnten, halte ich es für nützlich, die gegen die beiden englischen Autoren gerichteten sachlichen Einwendungen so weit zu beantworten,

als nöthig ist, damit der Leser sich durch eigene Ueberlegung zurecht zu finden wisse.

Unter den Naturforschern, welche ihr Streben vorzugsweise darauf gerichtet haben, die Naturwissenschaft von allen metaphysischen Erschleichungen und von allen willkürlichen Hypothesen zu reinigen, sie im Gegentheil immer mehr zum reinen und treuen Ausdruck der Gesetze der Thatsachen zu machen, nimmt Sir William Thomson eine der ersten Stellen ein, und er hat gerade dieses Ziel vom Anfange seiner wissenschaftlichen Laufbahn an in bewusster Weise verfolgt. Eben dies erscheint mir als ein Hauptverdienst des vorliegenden Buches, während es in Zöllner's Augen seinen fundamentalen Mangel bildet. Letzterer möchte statt der „inductiven" Methode der Naturforscher eine überwiegend „deductive" eingeführt sehen. Wir alle haben bisher das inductive Verfahren gebraucht, um neue Gesetze, beziehlich Hypothesen, zu finden, das deductive, um deren Consequenzen zum Zwecke ihrer Verificirung zu entwickeln. Eine deutliche Auseinandersetzung, wodurch sich sein neues Verfahren von dem allgemein eingehaltenen unterscheiden solle, finde ich in Zöllner's Buche nicht. Dem von ihm in Aussicht genommenen letzten Ziele nach läuft es auf Schopenhauer'sche Metaphysik hinaus. Die Gestirne sollen sich einander lieben und hassen, Lust und Unlust empfinden und sich so zu bewegen streben, wie es diesen Empfindungen entspricht. Ja in verschwommener Nachahmung des Gesetzes der kleinsten Wirkung wird (S. 326, 327) der Schopenhauer'sche Pessimismus, welcher diese Welt zwar für die beste unter den möglichen Welten, aber für schlechter als gar keine erklärt, zu einem angeblich allgemein gültigen Principe von der kleinsten Summe der Unlust formulirt, und dieses als oberstes Gesetz der Welt, der lebenden wie der leblosen, proclamirt.

Dass nun ein Mann, dessen Geist auf solchen Wegen wandelt, in der Methode des Thomson-Tait'schen Buches das gerade Gegentheil des richtigen Weges, oder dessen, was er selbst dafür hält, erblickt, ist natürlich; dass er den Grund des Widerspruchs in allen möglichen persönlichen Schwächen der Gegner, nicht aber da sucht, wo er wirklich steckt, entspricht ganz der intoleranten Weise, in der Anhänger von metaphysischen Glaubensartikeln ihre Gegner zu behandeln pflegen, um sich und der Welt die Schwäche ihres eigenen Standpunktes zu verhüllen. Zöllner ist überzeugt, „dass es der Mehrzahl unter den heutigen

Vertretern der exacten Wissenschaften an einer klar bewussten Kenntniss der ersten Principien der Erkenntnisstheorie gebreche". (S. VIII.) Dies sucht er durch Nachweisung angeblicher grober Denkfehler bei mehreren von ihnen zu erhärten.

Dazu müssen zunächst Thomson und Tait herhalten. Diese haben ihre Ueberzeugung betreffs des richtigen Gebrauchs der naturwissenschaftlichen Hypothesen in den Paragraphen 381 bis 385 des vorliegenden Buches Ausdruck gegeben. Sie tadeln in Paragraph 385 Hypothesen, die sich zu weit von den beobachtbaren Thatsachen entfernen, und wählen als Beispiele für den nachtheiligen Einfluss derselben natürlich nur solche, welche durch ausgedehnte Verbreitung und die Autorität ihrer Urheber wirklich einflussreich geworden sind. In dieser Beziehung stellen sie das von unserem Landsmanne Wilhelm Weber aufgestellte Gesetz der elektrischen Fernwirkung in gleiche Linie mit der von Newton physikalisch durchgearbeiteten Emissionstheorie des Lichtes. Diese Nebeneinanderstellung zeigt am besten, dass die englischen Autoren Nichts beabsichtigten, was ein gesund gebliebenes deutsches Nationalgefühl verletzen müsste. Wir sind, denke ich, in Deutschland noch nicht dahin gekommen und werden hoffentlich nie dahin kommen, dass Hypothesen, wenn sie auch von einem noch so hochverdienten Manne aufgestellt worden sind, nicht kritisirt werden dürften. Sollte es aber wirklich jemals dahin kommen, dann würden Zöllner und seine metaphysischen Freunde in der That das Recht haben, über den Untergang der deutschen Naturwissenschaft zu klagen, beziehlich zu triumphiren. Eine Hypothese aufgestellt zu haben, welche bei weiterer Entwickelung der Wissenschaft sich als unzulässig erweist, ist für Niemanden ein Tadel, ebensowenig als es für Jemanden, der in gänzlich unbekannter Gegend sich seinen Weg suchen muss, ein Vorwurf ist, trotz aller Aufmerksamkeit und Ueberlegung, die er verwendet hat, einmal fehlgegangen zu sein. Auch ist weiter klar, dass derjenige, der eine Hypothese, welche die Geister einer grossen Menge von wissenschaftlichen Männern gefangen genommen hat, für falsch hält, demnächst urtheilen muss, dass dieselbe zeitweilig schädlich und hemmend für die Entwickelung der Wissenschaft sei, und er wird berechtigt sein, dies auszusprechen, wenn ihm die Aufgabe zufällt, nach seiner besten Ueberzeugung den Lernenden über den Weg, den er einzuschlagen habe, zu berathen.

Unter den Gründen, welche Sir William Thomson für die Unzulässigkeit der Weber'schen Hypothese anführt, ist auch der,

dass sie dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft widerspreche. Dieselbe Behauptung war auch ich genöthigt, etwas später in einer im Jahre 1870 veröffentlichten Arbeit[1]) aufzustellen. Zöllner hat nun auf die Autorität von C. Neumann hin angenommen, diese Behauptung sei falsch. Ihm erscheint im Gegentheil das Weber'sche Gesetz ebenfalls ein Universalgesetz aller Kräfte der Natur zu sein (wie sich diese verschiedenen Universalgesetze mit einander vertragen, bleibt unerörtert), und er verwendet 20 Seiten seiner Einleitung dazu, um seiner Entrüstung über die intellectuelle und moralische Stumpfheit derjenigen, die es antasten, Luft zu machen. Zöllner wird seitdem wohl begriffen haben, dass es mindestens unvorsichtig ist, nur auf die Autorität eines der Gegner gestützt einem wissenschaftlichen Streite mit Schmähreden gegen die andere Partei assistiren zu wollen, abgesehen davon, dass man auf solche Weise zur Entscheidung des Streites gar Nichts, zur Verbitterung desselben vielleicht sehr viel beiträgt. Neumann war selbst Partei in dieser Sache; die Theorie der elektrodynamischen Wirkungen, welche er selbst damals festhielt, wurde von meinen Einwänden mitgetroffen. Er hat seitdem diese Theorie fallen lassen. Er selbst, wie Wilhelm Weber, haben des letzteren ursprüngliche Theorie halten zu können geglaubt, wenn sie die Mitwirkung molecularer Kräfte für sehr genäherte elektrische Massen hinzunähmen. Ich habe dann in meiner zweiten Abhandlung zur Theorie der Elektrodynamik[2]) nachgewiesen, dass die Annahme von Molecularkräften den Leck in der Weber'schen Theorie nicht zustopft. Inzwischen hat Herr C. Neumann selbst, noch ehe er von meinem zweiten Aufsatze Kenntniss erhielt, die Begründung der Elektrodynamik auf das Weber'sche Gesetz aufgegeben, und ein neues Gesetz dafür zu construiren gesucht.

Hierbei möchte ich, gegenüber der Betonung der deductiven Methode durch unsere Gegner, an dieses Beispiel noch folgende Bemerkung knüpfen. Nach der bisherigen Ansicht der besseren Naturforscher war die deductive Methode nicht bloss berechtigt, sondern sogar gefordert, wenn es sich darum handelte, die Zulässigkeit einer Hypothese zu prüfen. Jede berechtigte Hypothese ist der Versuch, ein neues allgemeineres Gesetz aufzustellen, welches mehr Thatsachen unter sich begreift, als bisher beob-

---

[1]) Ueber die Bewegungsgleichungen der Elektricität für ruhende gleitende Körper. Borchardt, Journal für Mathematik. Bd. 72.

[2]) Genanntes Journal, Bd. 75.

achtet sind. Die Prüfung derselben besteht nun darin, dass wir alle Folgerungen, welche aus ihr herfliessen, uns zu entwickeln suchen, namentlich diejenigen, welche mit beobachtbaren Thatsachen zu vergleichen sind. Also wäre es meines Erachtens die erste Pflicht derjenigen gewesen, welche die Weber'sche Hypothese vertheidigen wollten, unter Anderem nachzusehen, ob diese Hypothese die allergemeinste Thatsache erklären kann, die nämlich, dass die Elektricität, wenn keine elektromotorischen Kräfte auf sie einwirken, in allen elektrischen Leitern in Ruhe bleibt und also fähig ist, in stabilem Gleichgewichte zu beharren. Wenn die Weber'sche Hypothese das Gegentheil ergiebt, wie ich nachzuweisen gesucht habe, so war zunächst nach einer solchen Modification derselben zu suchen, welche stabiles Gleichgewicht in den grössten wie in den kleinsten Leitern möglich machte. Nach meiner Ansicht wäre dies ein richtiges und durch die deductive Methode gefordertes Verfahren gewesen, nicht aber Halt zu machen, wenn man merkt, dass man auf unbequeme Folgerungen kommt, und sich damit zu entschuldigen, dass die richtigen Differentialgleichungen für die Bewegung der Elektricität aus dem Weber'schen Gesetz eben noch nicht gefunden seien. Und wenn ein Anderer sich dieser Mühe unterzieht, so sollte Jemand, der sich für einen Vertreter der deductiven Methode *κατ' ἐξοχήν* hält, ihm Beifall spenden, statt ihn der Impietät zu bezichtigen, selbst wenn die Ergebnisse der Untersuchung sich als unbequem für den Icarusflug der Speculation herausstellen sollten.

Da Zöllner sich nicht für einen Mathematiker ausgiebt, im Gegentheil uns auf Seite 426 und 427 seines Buches belehrt, dass zu häufige Anwendung der Mathematik die bewusste Verstandesthätigkeit verkümmern mache und ein bequemes Mittel zur Befriedigung der Eitelkeit sei, ausserdem an vielen Stellen, immer wiederholt, seine Geringschätzung denen ausspricht, die seine Speculationen durch Nachweis von Fehlern im Differentiiren und Integriren zu widerlegen glaubten: so dürfen wir betreffs des Weber'schen Gesetzes nicht zu strenge mit ihm rechten. Freilich sollte billiger Weise Jemand, der die Freiheit für sich in Anspruch nimmt, unsicher in der Mathematik sein zu dürfen, nicht über Dinge absprechen wollen, die nur durch mathematische Untersuchungen entschieden werden können.

Es bleibt noch ein Ausfall gegen Thomson und Tait wegen der Emissionstheorie des Lichtes. Sie sagen, eine solche Theorie wäre höchstens dann zu rechtfertigen gewesen, wenn ein Licht-

körperchen wirklich gesehen und untersucht worden wäre. Zöllner findet in dieser Forderung „nicht etwa nur eine physikalische, son- „dern sogar eine leicht zu entdeckende logische Unmöglichkeit. „In der That, wenn in uns erst durch die Berührung der Licht- „körperchen mit unseren Nerven die Empfindung des Lichtes „erzeugt wird, — so ist es offenbar unmöglich, ein solches „Lichtkörperchen, bevor es unseren Sehnerven berührt oder affi- „cirt hat, überhaupt durch das Auge wahrzunehmen". Darauf folgen dann Declamationen über grobe Denkfehler, absoluten Nonsens u. s. w. Letzterer ist hier wirklich vorhanden; aber er steckt nicht in dem, was die englischen Autoren gesagt, sondern in dem, was Zöllner in ihre Worte hineininterpretirt hat. Muss ich einem Manne, der so viel sicherer in den Elementen der Erkenntnisstheorie zu sein glaubt, als seine Gegner, noch erst auseinandersetzen, dass ein Object sehen, im Sinne der Emanationstheorie, heisst, die Lichtkörperchen in das Auge aufnehmen und empfinden, die von jenem Objecte abgeprallt sind? Nun ist aber nichts von einer logischen Unmöglichkeit oder Widerspruch gegen die Grundlagen der Theorie in der Annahme zu finden, dass ein ruhendes Lichtkörperchen — sie ruhen ja, sobald sie von dunkeln Körpern absorbirt sind — andere gegenstossende zurückwerfe, für die es dadurch Radiationscentrum wird und demnächst als Ausstrahlungspunkt dieser Radiation gesehen werde. Ob und wie ein solcher Vorgang zur Beobachtung zu bringen ist, wäre im Sinne der englischen Autoren natürlich Sache desjenigen, der die Existenz der Lichtkörperchen direct beweisen wollte. Man mag über die Strenge und Zweckmässigkeit dieser Anforderung denken, was man will, ein logischer Widerspruch liegt nicht darin, und gerade auf einen solchen käme es an, um das zu beweisen, was Zöllner beweisen möchte.

Einen weiteren Einwurf von ähnlichem wissenschaftlichem Werthe will ich noch erwähnen, weil er sich auf Sir William Thomson bezieht, wenn auch nicht auf eine Stelle dieses Buches. Es betrifft die Frage über die Möglichkeit, dass organische Keime in den Meteorsteinen vorkommen und den kühl gewordenen Weltkörpern zugeführt werden. Sir William Thomson hatte diese Ansicht in seiner Eröffnungsrede der britischen Naturforscherversammlung zu Edinburg im Herbst 1871 als „nicht unwissenschaftlich" bezeichnet. Auch hier muss ich mich, wenn darin ein Irrthum liegt, als Mitirrender melden. Ich hatte dieselbe Ansicht als eine mögliche Erklärungsweise der Uebertragung

von Organismen durch die Welträume sogar noch etwas früher als Thomson in einem im Frühling desselben Jahres zu Heidelberg und Cöln gehaltenen, aber noch nicht veröffentlichten Vortrage erwähnt[1]). Ich kann nicht dagegen rechten, wenn Jemand diese Hypothese für unwahrscheinlich im höchsten oder allerhöchsten Grade halten will. Aber es erscheint mir ein vollkommen richtiges wissenschaftliches Verfahren zu sein, wenn alle unsere Bemühungen scheitern, Organismen aus lebloser Substanz sich erzeugen zu lassen, dass wir fragen, ob überhaupt das Leben je entstanden, ob es nicht eben so alt, wie die Materie sei, und ob nicht seine Keime von einem Weltkörper zum anderen herübergetragen sich überall entwickelt hätten, wo sie günstigen Boden gefunden.

Zöllner's angebliche physikalische Gegengründe sind von sehr geringem Gewicht. Er erinnert an die Erhitzung der Meteorsteine und fügt hinzu (S. XXVI): „Wenn daher jener mit „Organismen bedeckte Meteorstein auch beim Zertrümmern seines „Mutterkörpers mit heiler Haut davon gekommen wäre und nicht „an der allgemeinen Temperaturerhöhung Theil genommen hätte, „so musste er doch nothwendig erst die Erdatmosphäre passirt „haben, ehe er sich seiner Organismen zur Bevölkerung der Erde „entledigen konnte.“

Nun wissen wir erstens aus häufig wiederholten Beobachtungen, dass die grösseren Meteorsteine bei ihrem Fall durch die Atmosphäre sich nur in ihrer äussersten Schicht erhitzen, im Innern aber kalt oder sogar sehr kalt bleiben. Alle Keime also, die etwa in Spalten derselben steckten, wären vor Verbrennung in der Erdatmosphäre geschützt. Aber auch die oberflächlich gelagerten würden doch wohl, wenn sie in die allerhöchsten und dünnsten Schichten der Erdatmosphäre gerathen, längst durch den gewaltigen Luftzug herabgeblasen sein, ehe der Stein in dichtere Theile der Gasmasse gelangt, wo die Compression gross genug wird, um merkliche Wärme zu erzeugen. Und was andererseits den Zusammenstoss zweier Weltkörper betrifft, wie ihn Thomson annimmt, so werden die ersten Folgen davon gewaltige mechanische Bewegungen sein, und erst in dem Maasse, als diese durch Reibung vernichtet werden, entsteht Wärme. Wir wissen nicht, ob das Stunden, oder Tage, oder Wochen dauern würde. Die Bruchstücke, welche im ersten Moment mit planetarischer Geschwindigkeit fortgeschleudert sind, können also ohne alle

---

1) Ueber die Entstehung des Planetensystems. Siehe S. 89 dieses Bandes.

Wärmeentwickelung davon kommen. Ich halte es nicht einmal für unmöglich, dass ein durch hohe Schichten der Atmosphäre eines Weltkörpers fliegender Stein, oder Steinschwarm einen Ballen Luft mit sich hinausschleudert und fortnimmt, der unverbrannte Keime enthält.

Wie gesagt, möchte ich alle diese Möglichkeiten noch nicht für Wahrscheinlichkeiten ausgeben. Es sind nur Fragen, deren Existenz und Tragweite wir im Auge behalten müssen, damit sie vorkommenden Falls durch wirkliche Beobachtungen oder Schlussfolgerungen aus solchen gelöst werden können.

Zöllner versteigt sich dann zu folgenden zwei Sätzen (S. XXVIII und XXIX):

„Dass die Naturforscher heute noch einen so ungemeinen „Werth auf den inductiven Beweis der generatio aequivoca „legen, ist das deutlichste Zeichen, wie wenig sie sich mit den „ersten Principien der Erkenntnisstheorie vertraut gemacht „haben."

und ferner:

„Ebenso drückt die Hypothese von der generatio aequi„voca, — — nichts anderes als die Bedingung für die Be„greiflichkeit der Natur nach dem Causalitätsgesetze aus."

Hier haben wir den echten Metaphysiker. Einer angeblichen Denknothwendigkeit gegenüber blickt er hochmüthig auf die, welche sich um Erforschung der Thatsachen bemühen, herab. Ist es schon vergessen, wie viel Unheil dieses Verfahren in den früheren Entwickelungsperioden der Naturwissenschaften angerichtet hat? Und was ist die logische Basis dieses erhabenen Standpunktes? Die richtige Alternative ist offenbar:

„Organisches Leben hat entweder zu irgend einer Zeit angefangen zu bestehen, oder es besteht von Ewigkeit."

Zöllner lässt den zweiten Theil dieser Disjunction einfach weg, oder glaubt ihn durch einige kurz zuvor angeführte flüchtige physikalische Betrachtungen beseitigt zu haben, die durchaus nicht entscheidend sind. Demgemäss ist seine Conclusio, welche die erste Hälfte der oben aufgestellten Disjunction affirmirt, entweder gar nicht bewiesen, oder nur mittelst eines Minor, der auf physikalische Gründe (und zwar ungenügende) gestützt ist. Also ist die Conclusio keineswegs, wie Zöllner glaubt, ein Satz von logischer Nothwendigkeit, sondern höchstens eine unsichere Folgerung aus physikalischen Betrachtungen.

Dies ist, was Zöllner auf dem Gebiete der wissenschaftlichen Fragen gegen die Autoren dieses Handbuchs einzuwenden hat[1]). Wenn ich eine Nutzanwendung machen darf, so ist es die, dass die strenge Disciplin der inductiven Methode, das treue Festhalten an den Thatsachen, welches die Naturwissenschaften gross gemacht hat, für den aufmerksamen und urtheilsfähigen Leser durch keine theoretischen Gründe wirksamer und beredter vertheidigt werden kann, als durch das praktische Beispiel, welches das Zöllner'sche Buch für die Consequenzen der entgegengesetzten, angeblich deductiven, speculirenden Methoden giebt.

Berlin, December 1873.

---

[1]) Auf dem Gebiete der persönlichen Fragen muss ich bezüglich der die Principien der Spectralanalyse betreffenden Prioritätsreclamation, mit welcher William Thomson für Stokes gegen Kirchhoff aufgetreten ist, mich auf die Seite des Letztgenannten stellen in voller Anerkennung der Gründe, die er selbst geltend gemacht hat.

Ueber das Streben
nach
Popularisirung der Wissenschaft.

Vorrede
zu der
Uebersetzung von Tyndall's „Fragments of Science“
1874.

Wenn auch mein Name auf dem Titel dieses Bandes übersetzter Tyndall'scher Schriften[1]) nicht mehr als der des Herausgebers erscheint, so habe ich doch dieselbe Hülfe wie bei früheren Bänden zu leisten mich bemüht; das heisst, ich habe die Uebersetzung betreffs der sachlich richtigen Wiedergabe des naturwissenschaftlichen Inhalts durchgesehen und, wo es nothwendig erschien, zu bessern gesucht. Ich habe meine Mitwirkung trotz grosser Ueberhäufung mit anderen amtlichen und wissenschaftlichen Arbeiten nicht zurückgezogen, weil ich die Verbreitung gelungener populärer Darstellungen der wichtigeren und durchgebildeteren Theile der Naturwissenschaft für ein nützliches Werk halte.

Das auch in Deutschlands gebildeteren Kreisen erwachende und sich immer lebhafter äussernde Verlangen nach naturwissenschaftlicher Belehrung halte ich nicht bloss für ein Haschen nach einer neuen Art von Unterhaltung oder für leere und fruchtlose Neugier, sondern für ein wohlberechtigtes geistiges Bedürfniss, welches mit den wichtigsten Triebfedern der gegenwärtigen geistigen Entwickelungsvorgänge eng zusammenhängt. Nicht dadurch allein, dass sie gewaltige Naturkräfte den Zwecken des Menschen unterworfen und uns eine Fülle neuer Hülfsmittel zu

---

[1]) Wissenschaftliche Fragmente. Braunschweig 1874.

Gebote gestellt haben, sind die Naturwissenschaften von dem allererheblichsten Einfluss auf die Gestaltung des gesellschaftlichen, industriellen und politischen Lebens der civilisirten Nationen geworden; und doch wäre schon diese Art ihrer Wirkungen wichtig genug, dass der Staatsmann, Historiker und Philosoph eben so gut wie der Techniker und Kaufmann wenigstens an den praktisch gewordenen Ergebnissen derselben nicht theilnahmlos vorübergehen kann. Viel tiefer gehend noch und weiter tragend, wenn auch viel langsamer sich entfaltend ist eine andere Seite ihrer Wirkungen, nämlich ihr Einfluss auf die Richtung des geistigen Fortschreitens der Menschheit. Es ist schon oft gesagt und auch wohl den Naturwissenschaften als Schuld angerechnet worden, dass durch sie ein Zwiespalt in die Geistesbildung der modernen Menschheit gekommen sei, der früher nicht bestand. In der That ist Wahrheit in dieser Aussage. Ein Zwiespalt macht sich fühlbar; ein solcher wird aber durch jeden grossen neuen Fortschritt der geistigen Entwickelung hervorgerufen werden müssen, sobald das Neue eine Macht geworden ist und es sich darum handelt, seine Ansprüche gegen die des Alten abzugrenzen.

Der bisherige Bildungsgang der civilisirten Nationen hat seinen Mittelpunkt im Studium der Sprache gehabt. Die Sprache ist das grosse Werkzeug, durch dessen Besitz sich der Mensch von den Thieren am Wesentlichsten unterscheidet, durch dessen Gebrauch es ihm möglich wird, die Erfahrungen und Kenntnisse der gleichzeitig lebenden Individuen, wie die der vergangenen Generationen, jedem Einzelnen zur Verfügung zu stellen, ohne welches ein Jeder, wie das Thier, auf seinen Instinct und seine eigene einzelne Erfahrung beschränkt bleiben würde. Dass Ausbildung der Sprache einst die erste und nothwendigste Arbeit der heranwachsenden Volksstämme war, so wie noch jetzt die möglichst verfeinerte Ausbildung ihres Verständnisses und ihres Gebrauchs die Hauptaufgabe der Erziehung jedes einzelnen Individuums ist und immer bleiben wird, versteht sich von selbst. Ganz besonders eng knüpft sich die Cultur der modernen europäischen Nationen geschichtlich an das Studium der classischen Ueberlieferungen, und dadurch unmittelbar an das Sprachstudium an. Mit dem Sprachstudium hing zusammen das Studium der Denkformen, die sich in der Sprache ausprägen. Logik und Grammatik, das heisst nach der ursprünglichen Bedeutung dieser Worte, die Kunst zu sprechen und die Kunst zu schreiben, beide

im höchsten Sinne genommen, waren daher die natürlichen Angelpunkte der bisherigen geistigen Bildung.

Wenn nun auch die Sprache das Mittel ist, die einmal erkannte Wahrheit zu überliefern und zu bewahren, so dürfen wir doch nicht vergessen, dass ihr Studium Nichts davon lehrt, wie neue Wahrheit zu finden sei. Dem entsprechend zeigt die Logik wohl, wie aus dem allgemeinen Satze, der den Major eines Schlusses bildet, Folgerungen zu ziehen seien; wo aber ein solcher Satz herkomme, darüber weiss sie nichts zu berichten. Wer sich von seiner Wahrheit selbständig überzeugen will, der muss umgekehrt mit der Kenntniss der Einzelfälle beginnen, die unter das Gesetz gehören, und die später, wenn dieses festgestellt ist, freilich auch als Folgerungen aus dem Gesetze aufgefasst werden können. Nur wenn die Kenntniss des Gesetzes eine überlieferte ist, geht sie wirklich der der Kenntniss der Folgerungen voraus, und in solchem Falle gewinnen dann die Vorschriften der alten formalen Logik ihre unverkennbare praktische Bedeutung.

Alle diese Studien führen uns also nicht selbst an die eigentliche Quelle des Wissens, stellen uns nicht der Wirklichkeit gegenüber, von der wir zu wissen verlangen. Es liegt sogar eine unverkennbare Gefahr darin, dass dem Einzelnen vorzugsweise solches Wissen überliefert wird, von dessen Ursprung er keine eigene Anschauung hat. Die vergleichende Mythologie und die Kritik der metaphysischen Systeme wissen viel davon zu erzählen, wie bildlicher Wortausdruck später in eigentlicher Bedeutung genommen und als uranfängliche geheimnissvolle Weisheit gepriesen worden ist.

Also bei aller Anerkennung der hohen Bedeutung, welche die fein durchgearbeitete Kunst, das erworbene Wissen Anderen zu überliefern, und wiederum von Anderen solche Ueberlieferung zu empfangen, für die geistige Entwickelung des Menschengeschlechts hat und bei aller Anerkennung der Wichtigkeit welche der Inhalt der classischen Schriften, für die Ausbildung des sittlichen und ästhetischen Gefühls, für die Entwickelung einer anschaulichen Kenntniss menschlicher Empfindungen, Vorstellungskreise, Culturzustände hat, müssen wir doch hervorheben, dass ein wichtiges Moment dem ausschliesslich literarisch-logischen Bildungswege abgeht. Dies ist die methodische Schulung derjenigen Thätigkeit, durch welche wir das ungeordnete, vom wilden Zufall scheinbar mehr als von Vernunft beherrschte Material, das

in der wirklichen Welt uns entgegentritt, dem ordnenden Begriffe unterwerfen und dadurch auch zum sprachlichen Ausdrucke fähig machen. Eine solche Kunst der Beobachtung und des Versuchs finden wir bis jetzt fast nur in den Naturwissenschaften methodisch entwickelt; die Hoffnung, dass auch die Psychologie der Individuen und der Völker, nebst den auf sie zu basirenden praktischen Wissenschaften der Erziehung, der gesellschaftlichen und staatlichen Ordnung zum gleichen Ziele gelangen werde, scheint sich vorläufig nur auf eine ferne Zukunft richten zu dürfen.

Diese neue Aufgabe, von der naturwissenschaftlichen Forschung auf neuen Wegen verfolgt, hat schnell genug neue, in ihrer Art unerhörte Erfolge gehabt, ein Beweis dafür, welcher Leistungen das menschliche Denken fähig ist, wo dasselbe den ganzen Weg von den Thatsachen bis zur vollendeten Kenntniss des Gesetzes unter günstigen Bedingungen seiner selbst bewusst, und selbst alles prüfend zurücklegen kann. Die einfacheren Verhältnisse namentlich der unorganischen Natur erlauben eine so eindringende und genaue Kenntniss ihrer Gesetze zu erlangen, eine so weit reichende Deduction der aus diesen fliessenden Folgerungen auszuführen, und diese wiederum durch so genaue Vergleichung mit der Wirklichkeit zu prüfen und zu bewahrheiten, dass mit der systematischen Entfaltung solcher Begriffsbildungen (zum Beispiel mit der Herleitung der astronomischen Erscheinungen aus dem Gesetze der Gravitation) kaum ein anderes menschliches Gedankengebäude in Bezug auf Folgerichtigkeit, Sicherheit, Genauigkeit und Fruchtbarkeit zugleich möchte verglichen werden können.

Ich erinnere an diese Verhältnisse hier nur, um hervorzuheben, in welchem Sinne die Naturwissenschaften ein neues und wesentliches Element der menschlichen Bildung von unzerstörbarer Bedeutung auch für alle weitere Entwickelung derselben in der Zukunft sind, und dass eine volle Bildung des einzelnen Menschen, wie der Nationen, nicht mehr ohne eine Vereinigung der bisherigen literarisch-logischen und der neuen naturwissenschaftlichen Richtung möglich sein wird.

Nun ist die Mehrzahl der Gebildeten bisher nur auf dem alten Wege unterrichtet worden und ist fast gar nicht in Berührung mit der naturwissenschaftlichen Gedankenarbeit gekommen, höchstens ein wenig mit der Mathematik. Männer von diesem Bildungsgange sind es vorzugsweise, die unsere Staaten lenken, unsere Kinder erziehen, Ehrfurcht vor der sittlichen

Ordnung aufrecht halten, und die Schätze des Wissens und der Weisheit unserer Vorfahren aufbewahren. Dieselben sind es nun auch, welche die Aenderungen im Gange der Bildung der neu aufwachsenden Generationen organisiren müssen, wo solche Aenderungen nöthig sind. Sie müssen dazu ermuthigt oder gedrängt werden durch die öffentliche Meinung der urtheilsfähigen Classen des ganzen Volkes, der Männer, wie der Frauen.

Abgesehen also vom natürlichen Drange jedes warmherzigen Menschen, auch andere zu dem, was er als wahr und richtig erkannt hat, hinzuleiten, wird für jeden Freund der Naturwissenschaften ein mächtiges Motiv, sich an solcher Arbeit zu betheiligen, in der Ueberlegung liegen, dass die Weiterentwickelung dieser Wissenschaften selbst, die Entfaltung ihres Einflusses auf die menschliche Bildung, und, insofern sie ein nothwendiges Element dieser Bildung sind, sogar die Gesundheit der weiteren geistigen Entwickelung des Volkes davon abhängt, dass den gebildeten Classen Einsicht in die Art und die Erfolge der naturwissenschaftlichen Forschung so weit gegeben wird, als es ohne eigene eingehende Beschäftigung mit diesen Fächern überhaupt möglich ist.

Dass übrigens das Bedürfniss nach einer solchen Einsicht auch von denen gefühlt wird, welche unter überwiegend sprachlichem und literarischem Unterricht aufgewachsen sind, zeigt die grosse Menge populärer naturwissenschaftlicher Bücher, welche alljährlich erscheinen, und der Eifer, mit dem allgemein verständliche Vorlesungen naturwissenschaftlichen Inhalts besucht werden.

Es liegt aber in der Natur der Sache, dass der wesentliche Theil dieses Bedürfnisses, der tiefen Lage seiner Wurzeln entsprechend, nicht leicht zu befriedigen ist. Zwar, was die Wissenschaft als feststehendes Resultat einmal abgesetzt und fertig durchgearbeitet hat, das kann auch von verständigen Compilatoren zusammengestellt und in die passende Form gebracht werden, so dass es ohne weitere Vorkenntnisse des Lesers bei einiger Ausdauer und Geduld von diesem verstanden werden mag. Aber eine solche auf die thatsächlichen Ergebnisse beschränkte Kenntniss ist es nicht eigentlich, um was es sich handelt. Ja solche Bücher lenken bei bester Absicht leicht in falsche Bahnen. Sollen sie nicht ermüden, so müssen sie die Aufmerksamkeit des Lesers meist durch Anhäufung von Curiositäten festzuhalten suchen, wodurch das Bild von der Wissenschaft ein ganz falsches

wird; man fühlt das oft heraus, wenn man die Leser von dem erzählen hört, was ihnen wichtig erschien. Dazu tritt noch die Schwierigkeit, dass das Buch nur Wortbeschreibungen, höchstens mehr oder weniger unvollkommene Abbildungen von den Dingen und Vorgängen, die es behandelt, geben kann. Die Einbildungskraft des Lesers wird dadurch einer viel stärkeren Anstrengung bei viel ungenügenderen Resultaten unterworfen, als die des Forschers oder Schülers, der in Sammlungen und Laboratorien die lebendige Wirklichkeit der Dinge vor sich sieht.

Mir scheint aber, dass nicht sowohl Kenntnisse der Ergebnisse naturwissenschaftlicher Forschungen an sich dasjenige ist, was die verständigsten und gebildetsten unter den Laien suchen, als vielmehr eine Anschauung von der geistigen Thätigkeit des Naturforschers, von der Eigenthümlichkeit seines wissenschaftlichen Verfahrens, von den Zielen, denen er zustrebt, von den neuen Aussichten, welche seine Arbeit für die grossen Räthselfragen der menschlichen Existenz bietet. Von diesem allem ist in den rein wissenschaftlichen Abhandlungen unseres Gebietes kaum je die Rede; im Gegentheil, die strenge Disciplin der exacten Methode bringt es mit sich, dass in den mustergiltigen Arbeiten nur von sicher Ermitteltem gesprochen wird, oder höchstens von Hypothesen, gleichsam Fragestellungen an die weitere Forschung. Ob ein Mann der Wissenschaft sagt: „Ich weiss“ oder „Ich vermuthe“, gilt dem grösseren Theile selbst der unterrichteteren Leser ziemlich gleich; sie fragen nur nach dem Resultat und der Autorität, von der es gestützt wird, nicht nach der Begründung oder den Zweifeln. Darum gebietet natürliche Vorsicht dem ernsten Forscher in dieser Beziehung die grösste Strenge.

Auch ist nicht zu verkennen, dass die besondere Disciplin des wissenschaftlichen Denkens, welche zur möglichst abstracten und scharfen Fassung der neugefundenen Begriffe und Gesetze, zur Läuterung von allen Zufälligkeiten der sinnlichen Erscheinungsweise nöthig ist, so wie das damit verbundene Verweilen und Einleben in einen dem allgemeinen Interesse fernliegenden Gedankenkreis keine günstigen Vorbereitungen für eine allgemein fassliche Darlegung der gewonnenen Einsichten vor Zuhörern sind, die einer ähnlichen Disciplin nicht unterlegen haben. Für diese Aufgabe ist vielmehr ein gewisses künstlerisches Talent der Darstellung, eine gewisse Art von Beredtsamkeit nothwendig. Der Vortragende oder Schreibende muss allgemein zugängliche An-

schauungen finden, mittelst deren er neue Vorstellungen in möglichst sinnlicher Lebendigkeit hervorruft und an diesen dann auch die abstracten Sätze, die er verständlich machen will, concretes Leben gewinnen lässt. Es ist dies eine fast entgegengesetzte Behandlungsweise des Stoffs, als in den wissenschaftlichen Abhandlungen, und es ist leicht erklärlich, dass sich selten Männer finden, die zu beiderlei Art geistiger Arbeit gleich geschickt sind.

Durch alle diese Verhältnisse wird eine Art von Schranke aufgerichtet zwischen den Männern der Wissenschaft und den Laien, welche von ihnen Belehrung und Führung gewinnen möchten. Um so mehr ist es, wie ich meine, bei dieser Sachlage ein Glück, wenn sich unter denen, welche die volle Befähigung zu selbständiger wissenschaftlicher Arbeit erwiesen haben, ein Mann wie Tyndall findet, voll Enthusiasmus für die Aufgabe, die neu errungenen Einsichten und Anschauungen seiner Wissenschaft auf breite Kreise des Volkes wirken zu lassen, und dabei ausgerüstet mit den anderen Eigenschaften, welche die Thätigkeit für jenen Zweck erfordert, mit Beredtsamkeit und der Gabe anschaulicher Darstellung.

In England besteht die Sitte der populären naturwissenschaftlichen Vorlesungen seit viel längerer Zeit als in Deutschland. Bei der von der unserigen ganz abweichenden Einrichtung der englischen Universitäten sind dort viel Wenigere im Stande, wissenschaftliche Arbeiten und wissenschaftlichen Unterricht für regelrecht vorbereitete Schüler als einzigen Lebensberuf zu betreiben. Das macht meistens für den Einzelnen die Vertiefung in einen besonderen Studienkreis viel schwieriger; das Genie freilich bricht überall durch diese und andere Hindernisse. Dasselbe Verhältniss hat aber auch andererseits eine engere Berührung der Arbeiter für die Wissenschaft mit allen anderen Kreisen ihres Volkes unterhalten, und dazu getrieben, für die Möglichkeit des Unterrichts der nicht regelrecht vorgebildeten Schüler ausgiebiger zu sorgen. Während dies in Deutschland bisher nur ganz vereinzelt geschah, sind für den gleichen Zweck in England längst feste, gut ausgestattete Institute gegründet worden. Unter diesen steht in erster Linie die Royal Institution in London. „Königlich" heisst sie nur, weil König Georg III. das Patronat derselben übernahm, übrigens ist sie durch Privatmittel gegründet und wird durch solche unterhalten. Dieses Institut hat ein eigenes Gebäude mit einer grossen naturwissenschaftlichen Bibliothek,

Hörsaal, Sammlung physikalischer und chemischer Instrumente, Laboratorium u. s. w. Ein Professor der Physik und einer der Chemie (zur Zeit Tyndall und Frankland) sind regelmässig dort angestellt. Die Vorlesungen sind theils einzelne, welche (Freitags Abends) nur vor Mitgliedern der Gesellschaft oder eingeführten Gästen gehalten werden, und meist die Mittheilung neuer wissenschaftlicher Ergebnisse zum Zwecke haben, theils werden Curse von 6 bis 12 Vorträgen über einzelne Capitel der Wissenschaft, hauptsächlich, doch nicht ausschliesslich, der Naturwissenschaft gehalten. Zu letzteren hat Jeder Zutritt, der das Eintrittsgeld erlegt. Die Vortragenden sind theils die Professoren der Anstalt, die verpflichtet sind, jährlich einen solchen Cursus zu halten, theils englische oder auch auswärtige Gelehrte, welche dazu eingeladen werden. Namentlich in den beiden Umständen, dass dort Curse von einer mässigen Anzahl zusammenhängender Vorlesungen gehalten werden können, und dass dies in einem zu Demonstrationen und Versuchen jeder Art wohl eingerichteten Locale geschieht, liegt ein ausserordentlich grosser Vorzug vor der in Deutschland überwiegenden Gewohnheit, dass jeder Vortragende nur eine Vorlesung hält.

Nun ist begreiflich, dass während der 70 Jahre, wo dies besteht, und unter so viel günstigeren äusseren Bedingungen sich das Publicum seine Vortragenden und die Vortragenden ihr Publicum viel besser ausgebildet haben, als dies bisher in Deutschland der Fall sein konnte. Die Royal Institution hat unter ihren Professoren zwei Männer ersten Ranges gehabt, Humphrey Davy und Faraday, welche hieran mitgearbeitet haben. Ihr Nachfolger Tyndall wird in England, wie in den Vereinigten Staaten, wegen seines Talents zur populären Darstellung wissenschaftlicher Themata besonders hoch geschätzt. Wer, wie er, in sich die Begabung und die Kraft fühlt, in einer bestimmten Richtung an der geistigen Entwickelung der Menschheit mitzuarbeiten, pflegt auch Freude an einer solchen Thätigkeit und an ihrem Erfolge zu haben und ist bereit, ihr einen guten Theil seiner Zeit und seiner Arbeitskraft zu widmen. Deshalb ist Tyndall seiner Stelle an der Royal Institution treu geblieben, obgleich ihm andere ehrenvolle Stellen angeboten wurden. Aber es wäre eine ganz falsche Vorstellung, wollte man ihn nur als geschickten populären Redner betrachten, denn der grössere Theil seiner Thätigkeit ist immer der wissenschaftlichen Forschung gewidmet geblieben, und wir verdanken ihm eine Reihe, zum Theil höchst

origineller und bedeutsamer physikalischer und physikalisch-chemischer Untersuchungen und Entdeckungen.

Dies sind im Wesentlichen die Gründe, welche mich urtheilen liessen, dass die Verbreitung der Tyndall'schen populären Schriften in Deutschland zur Befriedigung eines wirklichen geistigen Bedürfnisses der gegenwärtigen Entwickelungsepoche beitragen würde. Der Erfolg, namentlich des Buches über die Wärme, scheint mir diese Erwartungen durchaus bestätigt zu haben. Von Männern sehr verschiedener Lebensberufe habe ich unaufgefordert den Nutzen rühmen hören, den ihnen das Buch gebracht habe.

Der vorliegende neue Band enthält mannigfaltigere Vorlesungen, die bei verschiedenen Veranlassungen entstanden sind; theils eigene neue Entdeckungen des Verfassers darstellend, theils seine Ideen über Methode der naturwissenschaftlichen Forschungen auseinandersetzend oder an Beispielen erläuternd, theils die Beziehungen des naturwissenschaftlichen Wissens zu anderen Gebieten menschlicher Geistesthätigkeit besprechend. Für die Eigenart des Verfassers ist der Aufsatz über wissenschaftlichen Gebrauch der Einbildungskraft besonders bezeichnend. Es giebt zwei Wege, den gesetzlichen Zusammenhang der Natur aufzusuchen, den der abstracten Begriffe und den einer reichen experimentirenden Erfahrung. Der erstere Weg führt schliesslich mittelst der mathematischen Analyse zur genauen quantitativen Kenntniss der Phänomene; aber er lässt sich nur beschreiten, wo der zweite schon das Gebiet einigermaassen aufgeschlossen, d. h. eine inductive Kenntniss der Gesetze mindestens für einige Gruppen der dahin gehörigen Erscheinungen gegeben hat, und es sich nur noch um Prüfung und Reinigung der schon gefundenen Gesetze, um den Uebergang von ihnen zu den letzten und allgemeinsten Gesetzen des betreffenden Gebietes und um die vollständige Entfaltung von deren Consequenzen handelt. Der andere Weg führt zu einer reichen Kenntniss des Verhaltens der Naturkörper und Naturkräfte, bei welcher zunächst das Gesetzliche nur in der Form, wie es die Künstler auffassen, in sinnlich lebendiger Anschauung des Typus seiner Wirksamkeit erkannt wird, um sich dann später in die reine Form des Begriffs herauszuarbeiten. Ganz von einander lösen kann man beide Seiten der Thätigkeit des Physikers niemals, wenn auch die Verschiedenheit der individuellen Begabung den Einen geschickter zur mathematischen Deduction, den Andern zur inductiven Thätigkeit des Experi-

mentirens macht. Löst sich aber der Erstere ganz von der sinnlichen Anschauung ab, so geräth er in Gefahr, mit grosser Mühe Luftschlösser auf unhaltbare Fundamente zu bauen, und die Stellen nicht zu finden, an denen er die Uebereinstimmung seiner Deductionen mit der Wirklichkeit bewahrheiten kann; dagegen würde der Letztere das eigentliche Ziel der Wissenschaft aus den Augen verlieren, wenn er nicht darauf hinarbeitete, seine Anschauungen schliesslich in die präcise Form des Begriffs überzuführen.

Die erste Entdeckung bisher unbekannter Naturgesetze, das heisst also neuer Gleichförmigkeiten in dem Ablaufe anscheinend unzusammenhängender Vorgänge, ist eine Sache des Witzes (dies Wort in seiner weitesten Bedeutung genommen) und wird fast immer nur durch die Vergleichung reicher sinnlicher Anschauungen gelingen; die Vervollständigung und Reinigung des Gefundenen fällt nachher der deductiven Arbeit der begrifflichen und zwar vorzugsweise mathematischen Analyse anheim, da es sich schliesslich immer um Gleichheit von Quantis handelt.

Tyndall ist überwiegend Experimentator; er bildet sich seine Verallgemeinerungen auf dem Wege der auf reiche Erfahrung gestützten Anschauung des Spiels der Naturkräfte, und überträgt, was er gesehen, hier auf die grössten, dort auf die kleinsten Raumverhältnisse, wie er dies in der vorhergenannten Vorlesung beschreibt. Es ist eine falsche Unterstellung, wenn man das, was er mit Einbildungskraft (Imagination) bezeichnet, als Phantasterei auslegen will. Es ist ganz das Gegentheil gemeint, reiche erfahrungsmässige Anschauung. In dieser Art zu arbeiten liegt auch offenbar der Grund für die Anschaulichkeit seiner Vorträge über physikalische Vorgänge, so wie für seine Erfolge als populärer Redner.

Uns Deutschen steht Tyndall überdies dadurch nahe, dass er einen Theil seiner Studien in Deutschland (hauptsächlich in Marburg) vollendet hat. Seine Liebe für die deutsche Literatur und Wissenschaft bekundet sich immer wieder in seinen Büchern. Seine Dankbarkeit hat er auch dadurch bethätigt, dass er manche Lanze gebrochen hat, um den Leistungen continentaler Forscher, wie Robert Mayer und Kirchhoff, die gebührende Anerkennung in seinem Vaterlande zu verschaffen. Er kämpft im Augenblick wieder für die Gletscheruntersuchungen der Schweizer Rendu, Agassiz, Desor. Dieselbe Dankbarkeit documentirt sich in der Stiftung, die er am Schlusse seiner in Amerika mit dem unge-

heuersten Beifalle gehaltenen Vorlesungscurse aus dem Ueberschuss seiner Einnahmen gemacht hat. Er bestimmt diesen dazu, dass davon „zwei amerikanische Studirende, welche entschiedenes Talent für Physik zeigen, und ihren Entschluss erklären, der Arbeit für diese Wissenschaft ihr Leben zu widmen, unterhalten oder unterstützt werden an solchen europäischen Universitäten, welche nach Ansicht der Verwalter der Stiftung am geeignetsten für diesen Zweck erscheinen".

„Mein Wunsch würde sein, dass jeder dieser Studirenden vier Jahre an einer deutschen Universität zubrächte, von denen drei für seinen Unterricht, eines auf selbständige Untersuchungen verwendet würde[1])."

Um so mehr finde ich es zu bedauern, dass gerade Tyndall in Deutschland von einem Angriffe getroffen worden ist, der gleichsam im Namen des deutschen Nationalgefühls gegen das Eindringen fremdländischer wissenschaftlicher Richtungen vollführt wird. Dieser Angriff ist in J. C. F. Zöllner's Buch über die Natur der Kometen enthalten. Seine Quelle, so weit diese aus wissenschaftlichen Differenzen sich herleitet, ist eine philosophische, der Gegensatz gegen die inductive Methode der Naturwissenschaften, die von Baco zuerst methodisch formulirt und von seinen Landsleuten am frühesten und consequentesten befolgt worden ist. Uebrigens ist dies ein alter Streitpunkt, aus dem schon manche Bäche bitterer Polemik geflossen sind.

Die Naturwissenschaften haben genau in dem Maasse reichere und schnellere Fortschritte gemacht, als sie sich dem Einflusse der angeblichen Deductionen a priori entzogen haben. In unserem Vaterlande ist dies am spätesten, dann aber auch am entschiedensten geschehen, und namentlich die deutsche Physiologie kann Zeugniss für die Tragweite und Bedeutung dieser Entscheidung geben. Es ist dies aber geschehen im Kampf gegen die letzten grossen Systeme metaphysischer Speculation, die die Erwartungen und das Interesse des gebildeten Theils der Nation auf das Höchste gespannt und gefesselt hatten, im Kampfe gegen die Auffassung, als ob nur das reine Denken die einer hohen Sinnesweise entsprechende Arbeit sei, das Sammeln der Erfahrungsthatsachen dagegen niedrig und gemein.

Indem ich den Namen der Metaphysik hier auf diejenige vermeintliche Wissenschaft beschränke, deren Zweck es ist, durch

---

[1]) The Popular Science Monthly 1873.

reines Denken Aufschlüsse über die letzten Principien des Zusammenhanges der Welt zu gewinnen, möchte ich mich nur dagegen verwahren, dass das, was ich gegen die Metaphysik sage, auf die Philosophie überhaupt bezogen werde. Mir scheint, dass nichts der Philosophie so verhängnissvoll geworden ist, als ihre immer wiederholte Verwechselung mit der Metaphysik. Letztere hat der ersteren gegenüber etwa dieselbe Rolle gespielt, wie die Astrologie neben der Astronomie. Die Metaphysik war es, welche hauptsächlich die Augen des grossen Haufens der wissenschaftlichen Dilettanten auf die Philosophie gerichtet und ihr Schaaren von Schülern und Anhängern zugeführt hat, freilich vielfach solche, die ihr mehr schadeten, als die erbittertsten Gegner hätten thun können. Es war die täuschende Hoffnung, auf einem verhältnissmässig schnellen und mühelosen Wege Einsicht in den tiefsten Zusammenhang der Dinge und das Wesen des menschlichen Geistes, in die Vergangenheit und Zukunft der Welt erlangen zu können, worin das aufregende Interesse beruhte, das so viele dem Studium der Philosophie zuführte, ebenso wie die Hoffnung, Vorhersagungen für die Zukunft zu gewinnen, ehemals der Astronomie Ansehen und Unterstützung verschaffte. Was die Philosophie uns bisher lehren kann, oder bei fortgesetztem Studium der einschlagenden Thatsachen uns einst wird lehren können, ist zwar vom höchsten Interesse für den wissenschaftlichen Denker, der das Instrument, mit dem er arbeitet, nämlich das menschliche Erkenntnissvermögen, nach seiner Leistungsfähigkeit genau kennen lernen muss. Aber zur Befriedigung dilettantischer Wissbegier oder, was noch mehr in Betracht kommt, menschlicher Eigenliebe werden diese strengen und abstracten Studien wohl auch in Zukunft nur geringe und schwer zu hebende Ausbeute liefern, gerade so, wie die mathematische Mechanik des Planetensystems und die Störungsrechnungen trotz ihrer bewunderungswürdigen systematischen Vollendung viel weniger populär sind, als es die astrologische Afterweisheit alter Zeit gewesen ist.

Zwar hat die neuere Metaphysik die kühnen und durch ihre Kühnheit imponirenden Pläne, das System alles Wissenswerthen aus dem reinen Denken zu entwickeln, aufgegeben. Man ist bereit, grosse Massen von Material aus den Erfahrungswissenschaften aufzunehmen und Hypothesen zu machen, deren Natur als solche anerkannt wird. Dagegen soll freilich eine gewisse Reihe von a priorischen Sätzen stehen bleiben, zu denen Zöllner zum Bei-

spiel das Gesetz der Gravitation und das Bestehen der Generatio aequivoca rechnet.

Vielleicht mag mancher der Leser, welcher den Naturwissenschaften fremd gegenüber steht und in seinem Herzen einen Rest von Hoffnung auf die einstige Erfüllung der kühnen Ideale eines grossen speculativen Systems bewahrt hat, deshalb geneigt sein, Zöllner's Darstellungen der Principien naturwissenschaftlicher Methode und der Geschichte naturwissenschaftlicher Entdeckungen Glauben zu schenken.

Das würde die Hoffnung auf eine endliche Versöhnung des Zwiespalts in unserer jetzigen Bildung nur hinausrücken. Auf das Einzelne einzugehen, fehlt hier der Platz; ich muss mich auf die Bitte beschränken, jenen Darstellungen nicht ohne Kritik vertrauen zu wollen, und hoffe, dass Männer, welche an wissenschaftliche Strenge gewöhnt sind, auch wo sie mit dem sachlichen Inhalt nicht vertraut sind, zu unterscheiden wissen werden, wo solche Strenge vorhanden ist, und wo sie mangelt.

Die Helmholtz-Biographie.

In einer Aufzeichnung über das Streben nach Popularisirung der Wissenschaft hat *Helmholtz* dem Wunsche Ausdruck gegeben, den Gebildetsten unter den Laien nicht sowohl Kenntnisse von den Ergebnissen naturwissenschaftlicher Forschungen zu übermitteln, sondern vielmehr eine Anschauung von der geistigen Thätigkeit des Naturforschers, von der Eigenthümlichkeit seines wissenschaftlichen Verfahrens, von den Zielen, denen er zustrebt, und von den neuen Aussichten, welche seine Arbeit für die grossen Räthselfragen der menschlichen Existenz eröffnet. Er weist auf das Vorbild der englischen Physiker, eines *Faraday*, eines *Tyndall*, hin, die ähnlich wie bei unseren Hochschulkursen an der vor hundert Jahren gegründeten *Royal Institution* zu *London* Vorträge für Jedermann halten, voller Begeisterung für ihre Aufgabe, ausgerüstet mit echt englischer Beredsamkeit und mit der Gabe jener anschaulichen Darstellung, die sich bis auf die trefflichen „Naturwissenschaftlichen Elementarbücher“ erstreckt.

Diese Forderung *Helmholtz'* hat auch der Darsteller seines Lebens, *Leo Koenigsberger*, der Mathematiker der *Heidelberger Universität*, erfüllt und ein in edelstem Sinn populäres, in vieler Hinsicht aber geradezu *klassisches* Werk geschaffen*). Was Stil und Factur, was die wirksame Vertheilung der Abhandlungen, der Vorträge, der Briefe, der Personen, die um und mit *Helmholtz* wirkten, die klare Wiedergabe der Schaffensgebiete, das Zurücktreten hinter dem Gegenstand anbetrifft, nicht zuletzt auch die bildnerischen Beigaben, so wissen wir in deutscher Sprache, in der gleichen Gattung und in ähnlichem Umfang kein Werk dem *Koenigsberger*'schen an die Seite zu stellen. Der Titel dieses Aufsatzes lautet daher mit Absicht: *die*, nicht *eine* Helmholtz-Biographie. . . . .

Das anfangs erwähnte Programm einer „Popularisirung der Wissenschaft“ hat *Helmholtz* in jener Zeit selbst ausgeführt; öffentlichen Vorlesungen in Königsberg und Bonn folgten solche in Karlsruhe, Düsseldorf, Frankfurt a. M.; gesammelt kamen sie in erster Folge 1865 heraus; ein zweiter Band erschien 1874. Diese „Reden und Vorträge“ sind ein Muster ihrer Gattung und wohl das beste, was wir in deutscher Sprache über physiologische und physikalische Probleme besitzen; man kann sie immer und immer wieder lesen, „herrlich wie am ersten Tag“. Der Stil ist natürlich, schlicht, doch innerlich und klangvoll; mit einfachen Grundbegriffen beginnend führt *Helmholtz* rasch

---

*) **„Hermann von Helmholtz“** von ***Leo Koenigsberger,*** Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1902—1903. Drei Bände mit 9 Bildn. in Heliogravure und einem Brieffacsimile M. 20.—, geb. in Lnwd. M. 25.—, geb. in Hlbfrz. M. 31.—

auf die Höhen seiner Beobachtungen und Theorien, vermeidet es dabei stets, von sich zu sprechen; der Leser hat am Ende das Gefühl der hohen Ehre, an solchem Gedankenflug theilgenommen zu haben. . . . .

B. Laquer in der Frankfurter Zeitung, 26. Juni 1903.

. . . . . Von den vielen, zum Theil die höchsten Probleme behandelnden Abhandlungen einen sachgemässen Bericht zu geben, erfordert eine Hingabe und eine Einarbeitung in verschiedene Gebiete, welche kaum von einem Manne geleistet werden kann, wie ja die Thatsache, dass ein Mann der Urheber jener Werke ist, als ein Wunder anzusehen ist. Dafür war es aber auch ein *Helmholtz*. Dass Herrn *Koenigsberger* trotzdem diese Berichterstattung so trefflich gelungen ist, dafür gebührt ihm das höchste Lob. Zwar wird nicht jeder jedem dieser Berichte sofort in vollem Umfange folgen können. Dazu gehören eben die verschiedensten Vorkenntnisse. Aber keiner, dem überhaupt Wissenschaft zugänglich ist, wird das Buch aus der Hand legen, ohne Erhebliches für Geist und Gemüth gewonnen zu haben. Und wer sich dadurch angeregt fühlt, einzelnes wieder zur Hand zu nehmen, z. B. „Die Vorträge und Reden“, in denen der grosse Meister aus seiner Gedankenarbeit mit das Beste in allgemein verständlicher Weise vorgetragen hat, wer die beiden prächtigen Rectoratsreden (Heidelberg 1862 und Berlin 1877) oder die akademischen Reden „Das Denken in der Medicin“ und „Die Thatsachen in der Wahrnehmung“ (Berlin 1877 und 1878) wieder liest, wird aus ihnen immer wieder Belehrung und Genuss schöpfen. Noch mehr aber werden diejenigen, welche den Personen selbst nahe standen, wie alle, die an reiner Hingabe für die Wissenschaft Antheil nehmen, ihre Freude haben an der schönen Gedächtnissrede für *Gustav Magnus* (Berlin 1871). Ich würde kein Ende finden, wenn ich alles aufzählen wollte. So muss ich mich denn mit diesen Beispielen begnügen, kann es aber nicht unterlassen, die besondere Freude auszudrücken, welche jeder Vertreter biologischer Wissenschaft daran haben muss, dass auf ihrem Boden ein solcher Wunderbaum erwachsen ist. . . . .

Zum Schluss kann ich nicht umhin, dem Verfasser dieses Werkes wie der Verlagshandlung meinen innigen Dank auszusprechen für das schöne Denkmal, das sie in ihm dem Menschen wie dem Gelehrten errichtet haben. Das Buch wird, das kann man wohl sagen, für immer eine Zierde unserer wissenschaftlichen Literatur sein.

J. Rosenthal im „Biologischen Centralblatt“. XXIII. Bd., Nr. 13.

